



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

GZ: QM - 9A 56100000 / SE 4.2.2

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	HF	RZ	0008	00	Stand: 22.04.2016

Titel der Unterlage:

KONZEPTPLANUNG FÜR DIE DURCHFÜHRUNG EINER ERGÄNZENDEN MULTI-OFFSET-VSP-MESSUNG UNTER VERWENDUNG DER ANREGUNGSPUNKTE EINER 3D-SEISMISCHEN MESSUNG IM GEBIET DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller:

ASSE-GMBH (TU FREIBERG)

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe PL:

Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	HF	RZ	0008	00	

Titel der Unterlage:

KONZEPTPLANUNG FÜR DIE DURCHFÜHRUNG EINER ERGÄNZENDEN MULTI-OFFSET-VSP-MESSUNG UNTER VERWENDUNG DER ANREGUNGSPUNKTE EINER 3D-SEISMISCHEN MESSUNG IM GEBIET DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
Kategorie S = substantielle Änderung  
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Stand: 22.04.2016

Blatt: 1

**DECKBLATT**

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

Kurztitel der Unterlage:  
Messkonzept zu VSP-Messungen

Ersteller / Unterschrift:  
TU Bergakademie Freiberg

Prüfer / Unterschrift:

Titel der Unterlage:  
**Konzeptplanung für die Durchführung einer ergänzenden Multi-Offset-VSP-Messung unter Verwendung der Anregungspunkte einer 3D-seismischen Messung im Gebiet der Schachanlage Asse II**

Freigabevermerk:

Freigabedurchlauf

Fachbereich: Betrieb  Datum: 27.05.2016	Stabsstelle Qualitätsmanagement:  Datum: 09. JUNI 2016	Endfreigabe: Geschäftsführung Asse-GmbH  Datum: 10. Juni 2016
Unterschrift	Unterschrift	Unterschrift

# REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

Kurztitel der Unterlage:

Messkonzept zu VSP-Messungen

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	22.04.2016	T-BS		-	Neuerstellung

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur, Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung, Kategorie S = substantielle Änderung. Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 3

## Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt	1
Revisionsblatt	2a
Inhaltsverzeichnis	3
Freigabeblatt	5
Zusammenfassung	6
1 Einleitung	7
2 Zielstellung der Konzeptplanung	8
3 Auswahl geeigneter Bohrungen für die VSP-Messungen	10
4 Akquisitionsparameter und Messkonzept	15
5 Einbindung des Mikroseismik-Netzes der Asse-GmbH in die Messungen	36
6 Fazit	37
7 Literaturverzeichnis	38

## Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1:	Geologischer Schnitt 2 (SW-NO-Schnitt)	40
Anhang 2:	Geplante Mess- und Zielfläche für die 3D-seismische Hauptmessung	41
Anhang 3:	Übertägige seismische Erkundung (Anregungs- und Empfängerlinien)	42
Anhang 4:	Darstellung vorhandener Bohrungen für VSP-Messungen	43
Anhang 5:	Quellposition und Position des Reflexionspunktes	44
Anhang 6:	Bestimmung des Reflexionspunktes (3D)	46
Anhang 7:	Zusätzliche Hinweise für die Erstellung der Ausschreibung	50

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Lage der Bohrungen GW-018, GW-019, GW-020 und GW-021	10
Tabelle 4.1:	Eckpunktkoordinaten für VSP-Varianten mit Bohrungen GW-018 und GW-019	20
Tabelle 4.2:	Eckpunktkoordinaten für VSP-Variante mit Bohrung GW-020	21

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Geologischer Sohlenriss 637 m der Schachanlage Asse II	9
Abbildung 3.1:	Geologischer Schnitt 2 der Asse Salzstruktur mit Bohrlochabschnitten für VSP	14
Abbildung 4.1:	Bohrung GW-018. Quellposition und Position des Reflexionspunktes	17
Abbildung 4.2:	Bohrung GW-018. Quellposition und Position des Reflexionspunktes	18
Abbildung 4.3:	Messgebiet 3D-Seismik und VSP-Messung (Bohrungen GW-018 und GW-019)	22
Abbildung 4.4:	Messgebiet 3D-Seismik und VSP-Messung (Bohrung GW-020)	23
Abbildung 4.5:	Lage der Reflexionspunkte (VSP-Variante 1a)	25
Abbildung 4.6:	Überdeckungsschema (VSP-Variante 1a)	26
Abbildung 4.7:	Lage der Reflexionspunkte (VSP-Variante 1b)	27
Abbildung 4.8:	Überdeckungsschema (VSP-Variante 1b)	28
Abbildung 4.9:	Lage der Reflexionspunkte (VSP-Variante 2a)	29
Abbildung 4.10:	Überdeckungsschema (VSP-Variante 2a)	30
Abbildung 4.11:	Lage der Reflexionspunkte (VSP-Variante 2b)	31

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNA	NNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 4

Abbildung 4.12: Überdeckungsschema (VSP-Variante 2b) . . . . . 32

Abbildung 4.13: Lage der Reflexionspunkte (VSP-Variante 3) . . . . . 33

Abbildung 4.14: Überdeckungsschema (VSP-Variante 3) . . . . . 34

**Anzahl der Blätter dieses Dokumentes: . . . . . 54**

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00
Messkonzept zu VSP-Messungen						Blatt: 5

### Freigabeblatt

TU Bergakademie Freiberg  
 Institut für Geophysik  
 Gustav-Zeuner-Straße 12  
 D-09596 Freiberg

Freiberg, den 22.04.2016

Bearbeiter/Ersteller

Freiberg, den 22.04.2016

Freigabe

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 6

## Zusammenfassung

Das Konzept umfasst die Auswertung bestehender Bohrungen hinsichtlich der Nutzbarkeit für VSP-Messungen an der Schachtanlage Asse II sowie die Erstellung eines Messkonzeptes für Multi-Offset-VSP-Messungen, die gleichzeitig mit einer 3D-seismischen Hauptmessung stattfinden und die gleichen Quellenregungen verwenden. Außerdem werden Vorschläge zur ergänzenden Nutzung der Aufzeichnungen des permanent registrierenden Mikroseismiknetzes der Asse-GmbH unterbreitet. Die Konzeptplanung enthält darüber hinaus Akquisitionsparameter und messtechnische Spezifikationen, um eine Einbindung der VSP-Messung in das Messkonzept für die 3D-seismische Hauptmessung zu gewährleisten und um vor allem die Südflanke der Asse-Salzstruktur im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 mit den VSP-Messungen hochauflösend abbilden zu können.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 7

## 1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Stilllegung der Schachanlage Asse II ist eine 3D-Seismikmessung vorgesehen, um den geologischen Aufbau der Asse-Salzstruktur und des Deckgebirges hochauflösend zu erkunden. Besonderes Interesse besteht an der dreidimensionalen Abbildung der steil stehenden Flanken der Salzstruktur. Außerdem sollen mögliche Querstörungen und Auflockerungszonen abgebildet werden, die mögliche Wasserzutrittswege in das Grubengebäude darstellen könnten. Die Ausdehnung des Messgebietes sowie die Zielfläche für die Erkundung sind im Anhang 2 dargestellt.

Da insbesondere die Abbildung steil stehender Strukturen von der Erdoberfläche aus eine große Herausforderung darstellt, sollen vorhandene Tiefbohrungen im Bereich der Südflanke für begleitende VSP-Messungen (Vertical Seismic Profiling) genutzt werden. Mit Hilfe von seismischen Empfängern in den Bohrungen unter Nutzung der Oberflächenquellen können Teile der Südflanke und des Deckgebirges besser beleuchtet werden. Da sich die Empfänger im Bohrloch näher an den abzubildenden Strukturen befinden und auf diese Weise kürzere Laufwege (Quelle-Reflektor-Empfänger) verglichen mit Empfängern an der Erdoberfläche realisiert werden können, ist mit einer größeren übertragbaren Bandbreite der aufgezeichneten Reflexionssignale und folglich mit einer besseren Auflösung zu rechnen. Darüber hinaus zeichnen Bohrlochempfänger sowohl das nach unten laufende, direkte Wellenfeld als auch das nach oben laufende, reflektierte Wellenfeld auf. Das ermöglicht nach einer Trennung beider Wellenfeldanteile die Anwendung einer deterministischen Dekonvolution (z.B. Spektrendivision) und geht damit über eine reine statistische Wavelet-Schätzung hinaus. Weiterhin ist im Bohrloch in der Regel mit weniger Störsignalen als an der Oberfläche zu rechnen, wenn die Geophone gut an die Bohrlochwand angekoppelt sind. Die im Bohrloch registrierten Ersteinsätze können zur Berechnung bzw. Verbesserung des seismischen Geschwindigkeitsmodells genutzt werden. Aufgezeichnete Reflexionen können darüber hinaus mittels Prestack-Tiefenmigration ein Tiefenabbild der geologischen Struktur liefern.

Für die Konzeptplanung ist vorgegeben, die VSP-Messungen gleichzeitig mit der 3D-Seismikmessung zu realisieren, um die Quellenregung der 3D-Seismik für die VSP-Messung nutzen zu können und auf diese Weise Zusatzkosten, z.B. für die Bereitstellung von Quellen und das Permitting, zu begrenzen.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 8

## 2 Zielstellung der Konzeptplanung

Im Rahmen der Konzeptplanung wird die Dokumentation zu den Bohrungen GW-018 (R5), GW-019 (R6), GW-020 (R7) und GW-021 (R8) hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für VSP-Messungen und hinsichtlich des möglichen Erkenntnisgewinns ausgewertet. Die Lage dieser vier Bohrungen ist in der Übersichtskarte im Anhang 4 dargestellt. Unter Verwendung der zwei am besten geeigneten Bohrungen soll ein Messkonzept erstellt werden, das Energieanregungspunkte der 3D-Oberflächenseismikmessungen verwendet, die für die VSP-Messungen nutzbar sind. Dabei soll unter den gegebenen Randbedingungen ergänzend zur 3D-Seismik eine maximale Auflösung und Überdeckung der Salzflanke vor allem im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 erzielt werden. Weiterhin sind Anforderungen an die Auswertung der Multi-Offset-VSP-Messungen zu definieren und Möglichkeiten für die Nutzung der permanenten Aufzeichnungen des Mikroseismik-Netzes der Asse-GmbH aufzuzeigen.

Der Asse-Höhenzug liegt südöstlich von Wolfenbüttel in Niedersachsen und erstreckt sich über etwa 6 km in NW-SO-Richtung und 2 km in SW-NO-Richtung im nördlichen Harzvorland zwischen den Höhenzügen des Oderwaldes im Westen, dem Großen Fallstein im Süden und dem Elm im Nordosten. Der Höhenzug wird durch eine Salzstruktur gebildet und stellt ein Beispiel für die zahlreichen in Norddeutschland vorkommenden Salzdiapire dar. Die bisher vorhandenen Kenntnisse vom geologischen Aufbau der Asse-Salzstruktur sind im geologischen Schnitt 2 (Anhang 1) zusammengetragen. Sie basieren auf den zahlreichen Aufschlüssen des Bergbaus, Bohrungen und älteren Seismikmessungen, z.B. von 1983 und 1997 (siehe [1] Ergebnisbericht Reflexionsseismik Bohrlochseismik der Geophysik GGD, 1998). Teile der Schachtanlage Asse II und die Tiefbohrungen GW-018 und GW-019 (Remlingen 5 und 6) sind im geologischen Schnitt 2 enthalten. Der Aufstieg des Zechsteinsalzes und die Entstehung der Asse-Salzstruktur sind an die NW-SO-streichende Asse-Hauptscheitelstörung gebunden. An der Asse-Nordflanke sind die Formationen von der Kreide bis zum Unteren Buntsandstein durch den Salzaufstieg mit Einfallen nach Nordosten gekippt. An der Südflanke sind nur die Formationen von der Kreide bis zum Oberen Buntsandstein mit Einfallen nach Südwesten gekippt, so dass das Salz direkten Kontakt zum Oberen Buntsandstein hat. Unter der Asse-Salzstruktur ragt der Mittlere bis Untere Buntsandstein keilförmig in das Salz hinein. Weiterhin ist bekannt, dass die Südflanke mit ungefähr 70° offenbar deutlich steiler als die Nordflanke einfällt (vgl. Anhang 1). Mit den VSP-Messungen soll die südliche Salzflanke vor allem im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 in ca. 500 m bis 600 m Teufe abgebildet werden. Dieser Bereich befindet sich etwa 100 m bis 200 m nordwestlich des geologischen Schnittes 2 (siehe Abb. 2.1).

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

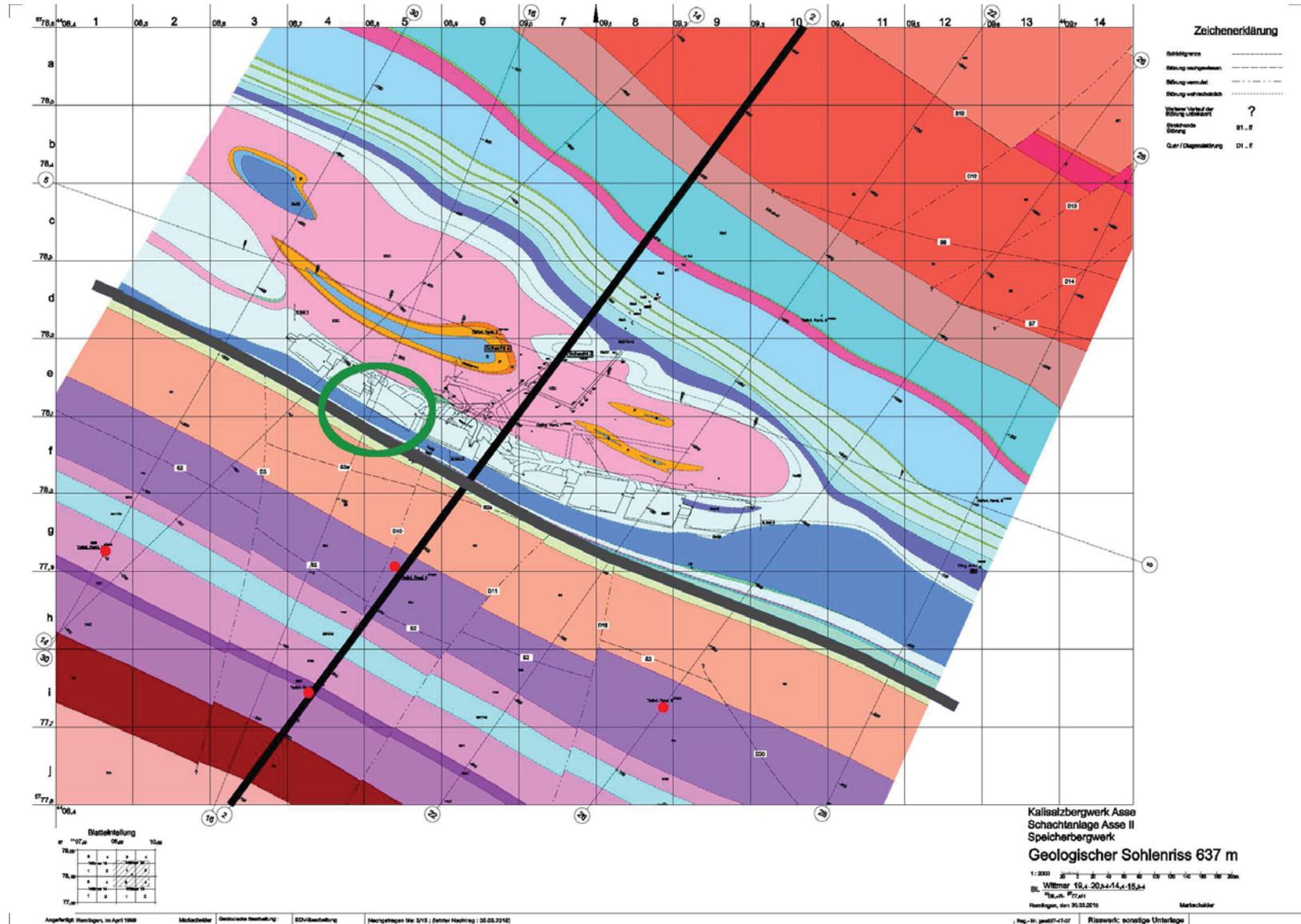


Abbildung 2.1: Geologischer Sohlenriss 637 m der Schachtanlage Asse II (Asse GmbH). Der Verlauf des geologischen Schnittes 2 (Anhang 1) in SW-NO-Richtung ist durch eine schwarze Linie markiert. Die Salzflanke ist mit einer grauen Linie gekennzeichnet. Das Zielgebiet für die Untersuchungen ist die Salzflanke im Bereich der grün hervorgehobenen Abbaureihen 2 und 3. Die Positionen der vier für die VSP-Messungen zur Verfügung stehenden Bohrungen ist durch rote Punkte hervorgehoben.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH – Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 10

### 3 Auswahl geeigneter Bohrungen für die VSP-Messungen

Die VSP-Messungen sollen ein detailliertes Abbild der Südflanke der Asse-Salzstruktur sowie des darüber liegenden Deckgebirges liefern. Für die Platzierung der VSP-Empfänger kommen deshalb die Bohrungen GW-018 (R5), GW-019 (R6), GW-020 (R7) und GW-021 (R8) in Frage, die sich im Bereich der Südflanke befinden. Zur Beurteilung des Informationsgewinns und der Verwendbarkeit wurden von der Asse GmbH bzw. vom Bundesamt für Strahlenschutz folgende Berichte und Dokumente zur Verfügung gestellt:

- Bericht zur Durchführung der Referenzmessungen an den Grundwassermessstellen des übertägigen Messnetzes [2],
- Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-018 (03.09.2012) [3],
- Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-019 (03.09.2012) [4],
- Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-020 (04.09.2012) [5],
- Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-021 (04.09.2012) [6],
- Ausbauplan der Bohrung Remlingen 5 (26.07.2004) ([7]),
- Ausbauplan der Bohrung Remlingen 6 (26.04.2004) ([8]),
- Ausbauplan der Bohrung Remlingen 7 (26.07.2004), ([9])
- Ausbauplan der Bohrung Remlingen 8 (09.08.2004) ([10]).

Die darin enthaltenen Angaben zur Lage der Bohrungen sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. GW-018 (R5) befindet sich ca. 560 m südwestlich, GW-019 (R6) liegt ca. 350 m südwestlich, GW-020 (R7) west-südwestlich der Schachanlage Asse II und GW-021 (R8) befindet sich östlich der Schachanlage Asse II an der Zufahrtsstraße.

Tabelle 3.1: Lage der Bohrungen GW-018, GW-019, GW-020 und GW-021 mit Positionen in Gauß-Krüger-Koordinaten.

Bohrung	Rechtswert (RW)	Hochwert (HW)	Höhe über NN (Bezugspunkt)	Höhe über NN (Oberkante Schachtdeckel)
GW-018 (R5)	4.408.717,00	5.777.743,32	173,00 m	173,02 m
GW-019 (R6)	4.408.845,87	5.777.893,06	193,44 m	193,46 m
GW-020 (R7)	4.408.461,54	5.777.919,75	181,53 m	181,55 m
GW-021 (R8)	4.409.185,65	5.777.725,12	171,21 m	171,23 m

Die Bohrung GW-018 liegt entsprechend den Angaben aus Tabelle 3.1 805 m nordöstlich der Kante AI-AII und 1770 m südöstlich der Kante AI-AIV des zentralen Messgebietes der 3D-Seismik (vgl. [11] Konzeptplanung für die Durchführung einer 3D-seismischen Messung (Hauptmessung) im Gebiet der Schachanlage Asse II, 2014). Die Bohrung GW-019 befindet sich 1002 m nordöstlich der Kante AI-AII und 1790 m südöstlich der Kante AI-AIV, die Bohrung GW-020 803 m nordöstlich der Kante AI-AII und 1460 m südöstlich der Kante AI-AIV und die Bohrung GW-021 1059 m nordöstlich der Kante AI-AII und 2164 m südöstlich der Kante AI-AIV. Alle vier Bohrungen sind

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 11
------------------------------	-----------

verrohrt. Im oberen Teil der Bohrungen sind mehrere Rohrtouren vorhanden. Die Zwischenräume zwischen den Rohrtouren mit verschiedenen Durchmessern sowie der Zwischenraum zwischen äußerer Rohrtour und Gebirge sind zementiert. Der Zustand der Zementierung wird, soweit bekannt, mit wenigen Ausnahmen als gut beschrieben, so dass bei Ankopplung der Bohrlochgeophone an die Bohrlochwand auch eine hinreichende akustische Ankopplung an das Gebirge zu erwarten ist.

Folgende Angaben zur Befahrbarkeit der Bohrungen (Stand 2014) stehen aufgrund der geophysikalischen Untersuchungen der Grundwassermessstellen zur Verfügung:

#### Bohrung GW-018 (R5):

- sicher zugänglich bis 883 m unter Geländeoberkante,
- Wasserspiegel ca. 75 m unter Geländeoberkante,
- bis 670 m Futterrohr 2 (DN 340) mit Innendurchmesser 313 mm - 322 mm,
- bei 473,0 m Innendurchmesser auf 308 mm verringert,
- unter 670,6 m verloren ausgebauter Rohrstrang (DN 245) mit 228 mm - 260 mm Durchmesser (für Messpunkte unterhalb von 670,6 m müssten andere Andrückarme für die Geophone verwendet werden, die an den schmaleren Durchmesser angepasst sind),
- nur geringe Inkrustationen unterhalb des Wasserspiegels,
- Zementation oberhalb von 367,7 m in einigen Teilabschnitten offenbar mangelhaft (u. a. 80 m-83 m, 115 m-117 m, 207 m-213 m, 215 m-218 m, 240 m-244 m, 265 m-280 m, 287 m-304 m, 311 m-317 m, 363 m-368 m. An diesen Stellen könnte es Probleme mit der Ankopplung der Bohrlochempfänger an das Gebirge geben).

#### Bohrung GW-019 (R6):

- sicher zugänglich bis 457 m unter Geländeoberkante,
- Wasserspiegel ca. 75 m unter Geländeoberkante,
- bis 484 m Futterrohr 3 (DN 127) mit Innendurchmesser 115 mm - 123 mm (zwischen 1,4 m und 79 m Teufe, Innendurchmesser 115 mm - 122 mm; zwischen 79 m und 448 m Teufe, Innendurchmesser 119 mm - 124 mm,
- Rohrstrang bei 448 m - 449 m unterbrochen, Innendurchmesser 136 mm
- bis 448 m einige wenige schadhafte Rohrverbindungen, darunter alle Rohrverbindungen schadhaft,
- unter 448 m, Innendurchmesser 120 mm - 123 mm, im Bereich schadhafter Rohrverbindungen 110 mm - 136 mm,
- oberhalb 79 m raue Wandung, unterhalb 79 m nur geringe Ablagerungen auf der Rohrwand
- Zementation abschnittsweise mangelhaft (u. a. 142 m-145 m, 161 m-162 m, 172 m-173 m, 181 m-186 m, 240 m-242 m, 376 m-377 m, 382 m-384 m, 394 m-395 m, 430 m-431 m, 443 m-444 m, 449 m-450 m, 463 m-466 m. An diesen Stellen könnte es Probleme mit der Ankopplung der Bohrlochempfänger an das Gebirge geben).

#### Bohrung GW-020 (R7):

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 12
------------------------------	-----------

- sicher zugänglich bis 863 m unter Geländeoberkante,
- Wasserspiegel ca. 60 m unter Geländeoberkante,
- bis 563 m Futterrohr 3 (DN 244,5) mit Innendurchmesser 232 mm - 239 mm,
- unterhalb 563 m verloren ausgebauter Rohrstrang (Futterrohr 4, DN 177,8) mit Innendurchmesser 139 mm - 174 mm,
- Engstelle zwischen 563 m und 565 m Teufe, Innendurchmesser 139 mm - 145 mm, darunter 172 mm - 174 mm.

#### Bohrung GW-021 (R8):

- sicher zugänglich bis 648 m unter Geländeoberkante,
- Wasserspiegel ca. 40 m unter Geländeoberkante,
- bis 649 m Futterrohr 3 (DN 177,8) mit Innendurchmesser 168 mm - 173 mm
- kaum Ablagerungen auf Rohrwandung unterhalb des Wasserspiegels,
- keine Rohrschäden.

Für die Abbildung der südlichen Salzflanke im Bereich des Grubengebäudes und des darüber liegenden Deckgebirges ist es ausreichend, die VSP-Messung auf die obersten Bohrlochabschnitte mit jeweils konstantem Innendurchmesser zu beschränken (siehe Abschnitt 4), d. h.

- in GW-018 (R5) bis 670 m unter Geländeoberkante (Innendurchmesser 313 mm - 322 mm, bei 473 m nur 308 mm),
- in GW-019 (R6) bis 448 m unter Geländeoberkante (Innendurchmesser 115 mm - 123 mm),
- in GW-020 (R7) bis 563 m unter Geländeoberkante (Innendurchmesser 232 mm - 239 mm) und
- in GW-021 (R8) bis 648 m unter Geländeoberkante (Innendurchmesser 168 mm - 173 mm).

Die Bohrlochabschnitte reichen bis in die Zieltiefe für die Detailerkundung der südlichen Salzflanke.

In den Kenndatenblättern sind geologische Profile der Bohrungen enthalten, aus denen hervorgeht, dass die Quartärüberdeckung bei allen vier Bohrungen weniger als 14 m mächtig ist. Danach schließen sich Formationen des Keupers an. Die Standrohre reichen jeweils etwa 25 bis 26 m unter Geländeoberkante. In den Bohrungen GW-019 (R6) und GW-021 (R8), die näher an der Asse-Salzstruktur liegen, wird die Grenze Keuper-Muschelkalk bereits in einer Teufe von ca. 60 m (GW-019) bzw. 93 m (GW-021) unter Geländeoberkante erreicht. In den Bohrungen GW-018 und GW-020 wird diese Grenze in größerer Teufe (ca. 523 m bzw. 431 m unter Geländeoberkante) angetroffen, so dass diese Formationsgrenze in den zwei Bohrungen als einer der Hauptreflektoren durch die darüber liegenden VSP-Empfänger abgebildet werden kann. Als einzige Bohrung erreicht die Bohrung GW-018 (R5) die Grenze Buntsandstein-Zechstein bei ca. 1081 m unter Geländeoberkante. Die Bohrungen GW-018 (R5) und GW-019 (R6) sind im geologischen Schnitt 2 (Abb. 3.1) enthalten. Der Schnitt verläuft in etwa senkrecht zum Streichen der Südflanke der Asse-Salzstruktur und lässt somit einen Rückschluss auf den ungefähren Abstand der Bohrungen zur Salzstruktur zu. Darin ist zu erkennen, dass der obere Rand der Asse-Salzstruktur ca. 450 m von der Bohrung GW-018 (R5) entfernt ist. Am Schnittpunkt der Bohrung mit der Grenze Keuper-Muschelkalk (523 m unter Geländeoberkante) beträgt der Abstand zur Salzstruktur ca. 340 m. In einer Teufe von 670 m unter Geländeoberkante, in der die verloren ausgebaute Rohrtour ansetzt, ist das Salz ca. 300 m entfernt. Die Bohrung GW-019 (R6) befindet sich näher an der Salzflanke. In der Tiefe der Salzoberkante ist die

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GmbH – Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 13

Bohrung GW-019 (R6) ca. 300 m von der Salzflanke entfernt. In 448 m Teufe unter Geländeoberkante, dem tiefsten sicher befahrbaren Punkt, ist die Salzflanke ca. 200 m entfernt. Diese Angaben finden im folgenden Abschnitt bei der Wahl geeigneter Anregungspunkte für die VSP-Messungen Verwendung.

Die Einsätze der direkten Wellen zwischen Anregungspunkt und Bohrlochgeophon können für eine Ersteinsatz-Laufzeit-tomographie genutzt werden, um das Geschwindigkeitsmodell der 3D-Seismik im Bereich des Deckgebirges oberhalb der Bohrlochempfänger zu verbessern. Dabei kann das Geschwindigkeitsmodell der 3D-Seismik als Startmodell für die Tomographie dienen. Weiterhin lassen sich spätere Reflexionseinsätze zur Erzeugung eines Tiefenabbildes der reflektierenden Strukturen mittels Prestack-Tiefenmigration verwenden. Da sich alle Geophonpositionen oberhalb oder seitlich der Salzstruktur befinden, können prinzipiell alle vier Bohrungen zur Abbildung der Südflanke des Salzes genutzt werden. Je nach Teufe der Bohrlochempfänger werden außerdem unterschiedliche Bereiche des Deckgebirges über dem Salz beleuchtet. Die Grenze Keuper-Muschelkalk kann unter Nutzung von seismischen Quellen an der Erdoberfläche auf diese Weise nur mit Bohrlochgeophonen oberhalb dieses Reflektors abgebildet werden. Die Teufenintervalle für Bohrlochgeophone in den Bohrungen GW-018 und GW-020 erstrecken sich vom Keuper bis in den Muschelkalk, so dass diese die Abbildung der Grenze Keuper-Muschelkalk und des darunter liegenden Deckgebirges erlauben. In den Bohrungen GW-019 und GW-021, die näher an der Asse-Salzstruktur liegen, befinden sich alle VSP-Messintervalle im Muschelkalk, so dass die Grenze Keuper-Muschelkalk in diesen Bohrungen nicht direkt abgebildet werden kann.

Die Bohrungen GW-018, GW-019 und GW-020 befinden sich annähernd in der Mitte des zentralen Messgebietes der 3D-Seismik (siehe Abb. 4.3 bzw. 4.4) und sind um das Zielgebiet der Erkundung für die VSP-Messungen mit den Abbaureihen 2 und 3 verteilt (Abb. 2.1). Die Bohrung GW-021 ist im Gegensatz zu den anderen Bohrungen weiter südöstlich im zentralen Messgebiet zu finden. GW-018 und GW-019 liegen dabei etwa auf einer Linie senkrecht zum Streichen der Asse-Salzstruktur, die dem Verlauf des geologischen Schnittes 2 entspricht. Mit einer Kombination von VSP-Messungen in den Bohrungen GW-018, GW-019 und GW-020 lässt sich demnach eine höhere Überdeckung der Salzflanke nahe dieser Bohrungen erzielen. Entsprechend wird folgende Priorisierung der Bohrungen für die VSP-Messungen vorgeschlagen, um einen maximalen Erkenntnisgewinn zu erzielen: GW-018 (höchste Priorität), GW-019, GW-020 und GW-021 (niedrigste Priorität).

Die Minimalvariante für eine Multi-Offset-VSP-Messung mit vergleichsweise großem zu erzielenden Erkenntnisgewinn wäre entsprechend die ausschließliche Verwendung der Bohrung GW-018 im Teufenintervall bis 670 m unter Geländeoberkante. Optional können zusätzlich die Bohrungen GW-019 und GW-020 in den Teufenintervallen bis 448 m bzw. bis 563 m für die VSP-Messungen verwendet werden. Die Bohrung GW-021 ist am weitesten vom Zielgebiet der VSP-Erkundung entfernt, weshalb sie im Folgenden nicht mehr betrachtet wird.



Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 15
------------------------------	-----------

#### 4 Akquisitionsparameter und Messkonzept für eine Multi-Offset-VSP-Messung

Die weiträumige Verteilung der 3D-Seismik-Anregungspunkte bietet bei Kombination mit Empfängerpositionen im Bohrloch die Möglichkeit, steil stehende Bereiche der Salzflanke und des Deckgebirges in der Nähe der Bohrungen flächenhaft mit hoher Auflösung abzubilden. Gegenüber einer profilhaften Walkaway-VSP-Messung mit deutlich weniger Anregungspunkten ist deshalb ein verbessertes, dreidimensionales Abbild der geologischen Struktur zu erwarten, das das Abbild der 3D-Seismik ergänzt. Darüber hinaus steht mit einer flächenhaften Multi-Offset-VSP-Messung eine größere Anzahl von Anregungspunkt-Empfängerpunkt-Kombinationen für eine Ersteinsatz-Laufzeit-Tomographie zur Verbesserung des 3D Geschwindigkeitsmodells zur Verfügung.

Grundlegende Aquisitionsparameter wie Aufzeichnungsdauer  $t_{max}$ , zeitliche Abtastung der Aufzeichnung  $\Delta t$  und Geophonabstand  $\Delta z$  werden wie folgt festgelegt: Die Aufzeichnungsdauer orientiert sich an der Aufzeichnungsdauer der 3D-Seismik ([11] Konzeptplanung für die Durchführung einer 3D-seismischen Messung (Hauptmessung) im Gebiet der Schachanlage Asse II, 2014) mit 10 s Sweep-Länge und 4 s Horchzeit ( $t_{max} = 14$  s). Die zeitliche Abtastung wird durch die maximale Frequenz ( $f_{max} = 150$  Hz) bestimmt. Zu einer Nyquist-Frequenz von 150 Hz gehört ein zeitliches Abtastintervall von ca. 3 ms. Für die Messung wird ein etwas kleineres Abtastintervall von 1 ms vorgeschlagen, so dass die kleinste Periode (1/150 s) mit 6 bis 7 Samples abgetastet wird. Bei einer angenommenen mittleren Wellengeschwindigkeit von ca. 4000 m/s (P-Wellen) und einer maximalen Frequenz von 150 Hz ergibt sich eine kleinste Wellenlänge von  $\lambda_{min} \approx 26,7$  m. Zur Vermeidung von räumlichem Aliasing ist diese Wellenlänge mit mindestens zwei Punkten, d.h. mit einem maximalen Geophonabstand von  $\Delta z = 13,3$  m, abzutasten. Die untere Schranke für den Geophonabstand  $\Delta z$  wird durch die zeitliche Abtastung bestimmt. Das zeitliche Abtastintervall von  $\Delta t = 1$  ms entspricht bei einer Wellengeschwindigkeit von ca. 4000 m/s einem Wellenausbreitungsweg von 4 m. Ein kürzerer Geophonabstand ist nicht sinnvoll, da Laufwege parallel zur Geophonkette unter 4 m mit der gegebenen Zeitabtastung nicht sinnvoll aufgelöst werden können. Deshalb wird ein Geophonabstand von  $\Delta z = 10$  m verwendet.

Jedes Geophon-Level soll mit einem Dreikomponentenempfänger bestückt werden, der alle drei Komponenten der Partikelgeschwindigkeit registriert. Um bei der Auswertung der Daten eine Trennung von P- und S-Wellen durchführen und aus der Polarisierung die Einfallrichtung ableiten zu können, müssen die drei Komponenten jeweils die gleiche Übertragungscharakteristik aufweisen. Die Einfallrichtung kann z.B. für fokussierende Prestack-Tiefenmigrationsverfahren (Fresnel-Volumen-Migration, Kohärenzmigration) genutzt werden, um ein verbessertes Tiefenabbild der geologischen Strukturen mit hoher Auflösung zu erzielen.

Folgende weitere Randbedingungen sind für die Planung der VSP-Messungen zu berücksichtigen: Die VSP-Messungen sollen gleichzeitig mit der 3D-Seismik stattfinden und deren Quellenregungspunkte verwenden. Die Verteilung Anregungslinien im Messgebiet der 3D-Oberflächenseismik sind in der Abbildung im Anhang 3 dargestellt. Da die Multi-Offset-VSP-Messungen als Ergänzung zur 3D-Oberflächenseismik durchgeführt werden sollen, gibt die Akquisitionsgeometrie der 3D-Seismik die Rahmenbedingungen für die VSP-Messungen vor. Die Erfordernisse der 3D-Seismikmessungen haben Vorrang vor den VSP-Messungen. Verzögerungen der 3D-Seismik durch die VSP-Messungen sind zu vermeiden. Aus diesem Grund sind wiederholte Quellenregungen an den gleichen Anregungspunkten der 3D-Seismik möglichst zu vermeiden. Deshalb wird die VSP-Messung so geplant, dass die Geophonketten im Bohrloch nach Möglichkeit nur wenige Male oder gar nicht versetzt werden

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 16

müssen. Um trotzdem eine großflächige Überdeckung im Untersuchungsbereich zu gewährleisten, sind Geophonketten mit vielen Empfängern zu verwenden, die nach Möglichkeit das gesamte Messintervall im Bohrloch abdecken. Die Vermeidung von häufigen Bewegungen der Geophonkette in den Bohrlöchern hat weiterhin den Vorteil, dass damit das Risiko einer Beschädigung oder eines Verlustes vermindert wird. Für die Bestückung der oberen Bohrlochabschnitte mit konstantem Innendurchmesser mit Bohrlochgeophonen im Abstand von 10 m sind Bohrlochgeophonketten mit

- 57 Levels (GW-018, 100 m bis 660 m unter Geländeoberkante),
- 35 Levels (GW-019, 100 m bis 440 m unter Geländeoberkante) und
- 47 Levels (GW-020, 100 m bis 560 m unter Geländeoberkante)

erforderlich. Kommen Geophonketten mit 32 Empfänger-Levels zum Einsatz, ist eine Aufteilung der Bohrlochabschnitte in zum Teil überlappende Messintervalle erforderlich:

- 2 Messintervalle (GW-018, 100 m bis 410 und 350 m bis 660 unter Geländeoberkante),
- 1 Messintervall (GW-019, 130 m bis 440 unter Geländeoberkante) und
- 2 Messintervalle (GW-020, 100 m bis 410 und 250 m bis 560 unter Geländeoberkante).

Positionen oberhalb von 100 m bzw. 130 m unter Geländeoberkante sind dabei von untergeordnetem Interesse, da vor allem die tieferen Geophonpositionen zur Beleuchtung des Zielgebietes in größeren Tiefen beitragen, wie nachfolgend gezeigt wird.

Für die Zuordnung geeigneter Anregungspunkte an der Erdoberfläche zu den VSP-Messintervallen ist zu berücksichtigen, dass die Anregungspunkte der 3D-Seismik in 200 m breiten Streifen mit SW-NO-Ausrichtung liegen, die senkrecht zur Streichrichtung der Salzstruktur verlaufen. Um die 3D-Seismik-Akquisition nicht zu behindern, kann deshalb ein Umsetzen der Bohrlochkette nur bei einem Wechsel der Anregung von einem in den nächsten Streifen erfolgen. Damit wird gleichzeitig erreicht, dass zu jedem VSP-Messintervall, in dem die Bohrlochgeophone an der Bohrlochwand arretiert werden, Anregungspunkte bei kleinen und größeren Offsets zur Verfügung stehen, so dass aus den größeren Offsets für das betreffende Messintervall die Polarisation des Ersteinsatzes an den Horizontalkomponenten und damit die Ausrichtung der Dreikomponentenempfänger im Bohrloch bestimmt werden kann.

Erkundungsziel für die VSP-Messungen ist die südliche Salzflanke vor allem im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 in ca. 500 m bis 600 m Teufe, die sich etwa 100 m bis 200 m nordwestlich des geologischen Schnittes 2 befinden (Abb. 2.1). Dieser Bereich liegt zwischen den Bohrungen GW-018 und GW-019, die sich beide auf dem geologischen Schnitt 2 in der Ebene des Schachtes Asse II befinden, und der Bohrung GW-020, die weiter nordwestlich des zu erkundenden Bereiches liegt. Für diese drei Bohrungen werden nachfolgend geeignete Anregungspunkte aus den Anregungsstreifen der 3D-Seismik ermittelt, um eine optimale Überdeckung der Salzflanke im Zielgebiet zu erreichen. Innerhalb der Anregungsstreifen beträgt der Anregungspunktabstand in Streichrichtung der Salzstruktur 10 m. Wie aus der Darstellung der Anregungslinien im Anhang 3 hervorgeht, variiert der Anregungslinienabstand senkrecht zur Streichrichtung zwischen 50 m im zentralen Messgebiet (Gebiet A mit den Eckpunkten AI, AII, AIII, AIV in Abb. 4.3 und 4.4), 100 m im Gebiet C und 200 m im Gebiet D. Die für die VSP-Messung vorgesehenen Bohrungen liegen im zentralen Messgebiet mit 50 m Linienabstand. Anhand der Abb. 4.1 und 4.2 für ein vereinfachtes Modell eines ebenen, geneigten Reflektors und VSP-Empfänger in der Bohrung GW-018 wird deutlich, dass die mit zunehmendem Offset wachsenden Linienabstände kein Hindernis für eine

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00


  
 ASSE  
GmbH – Verantwortlich handeln.

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 17
------------------------------	-----------

gleichmäßige Überdeckung darstellen. Abb. 4.1 stellt die notwendigen Quellpositionen zur Beleuchtung bestimmter Punkte auf dem Reflektor für eine ebene, geneigte Schichtgrenze und gerade Wellenausbreitungswege dar. Eine Herleitung der Gleichungen zur Berechnung ist im Anhang 5 zu finden. Die Abbildungen verdeutlichen, dass vor allem die tiefen Geophonpositionen in der Bohrung GW-018 notwendig sind, um die tieferen Bereiche der südlichen Salzflanke abzubilden. Reflexionen an den weniger tiefen Bereichen des Reflektors können in allen Bohrlochtiefen aufgezeichnet werden. Dabei befinden sich alle beleuchteten Reflektorpunkte aufgrund der Neigung nordöstlich der Bohrung GW-018.

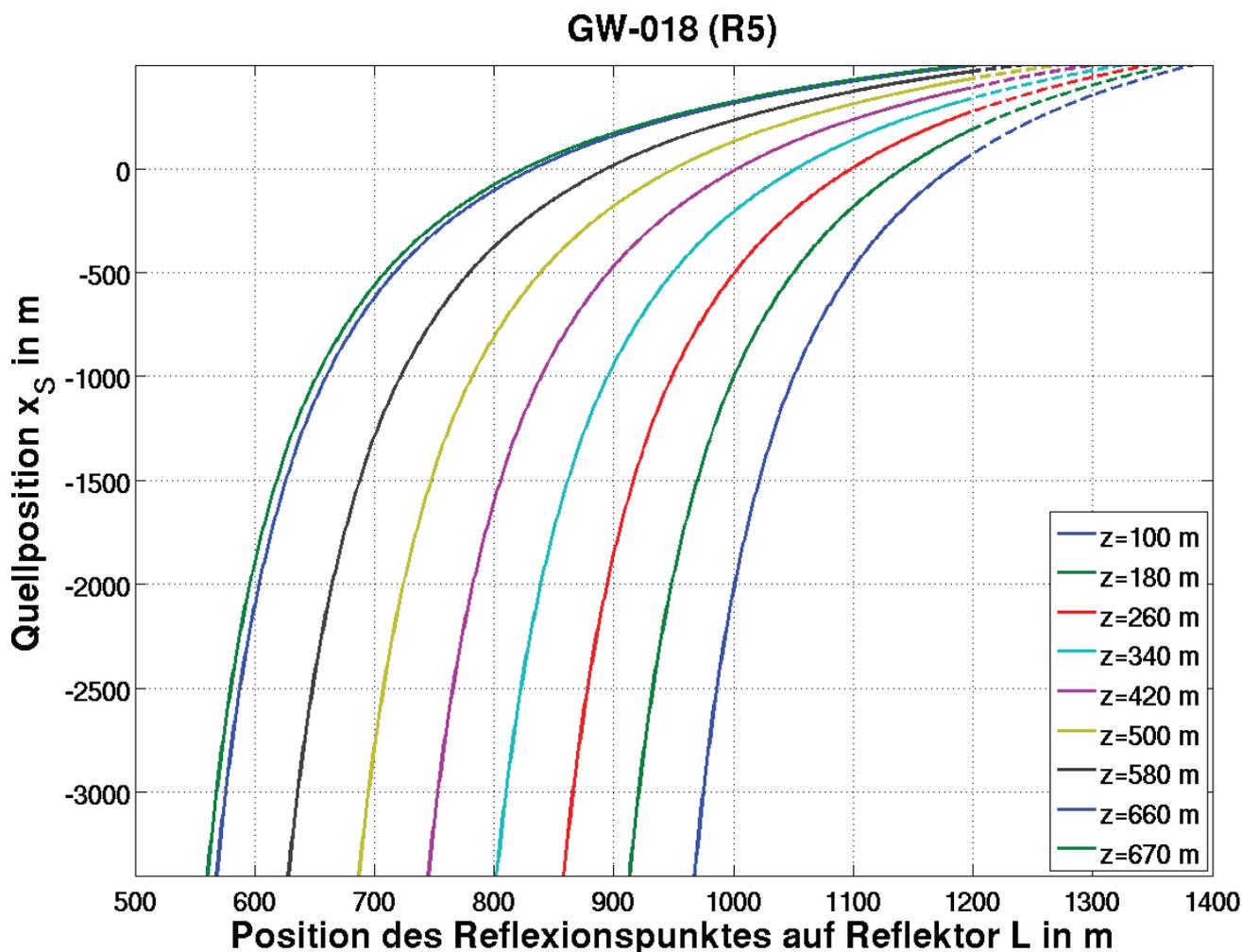


Abbildung 4.1: Bohrung GW-018 (R5). Quellposition  $x_S$  in Abhängigkeit von der Position  $L$  des Reflexionspunktes auf einem geneigten Reflektor.  $L = 0$  entspricht dem Schnittpunkt des verlängerten Bohrlochs mit dem Reflektor,  $x_S = 0$  der Bohrlochposition an der Erdoberfläche. Für die Salzflanke wird basierend auf dem Geologischen Schnitt 2 (Abb. 3.1) im Bereich der Bohrung ein Neigungswinkel von  $65^\circ$  und eine Tiefe von 1360 m unter Geländeoberkante bei  $x_S = 0$  angenommen. Die Graphen zeigen die Quellposition  $x_S$  für Bohrlochgeophone in 100 m, 180 m, 260 m, 340 m, 420 m, 500 m, 580 m, 660 m und 670 m Tiefe unter Geländeoberkante. Gestrichelte Abschnitte beziehen sich auf Positionen des ebenen Modellreflektors, die höher als der obere Rand des Salzes liegen würden.

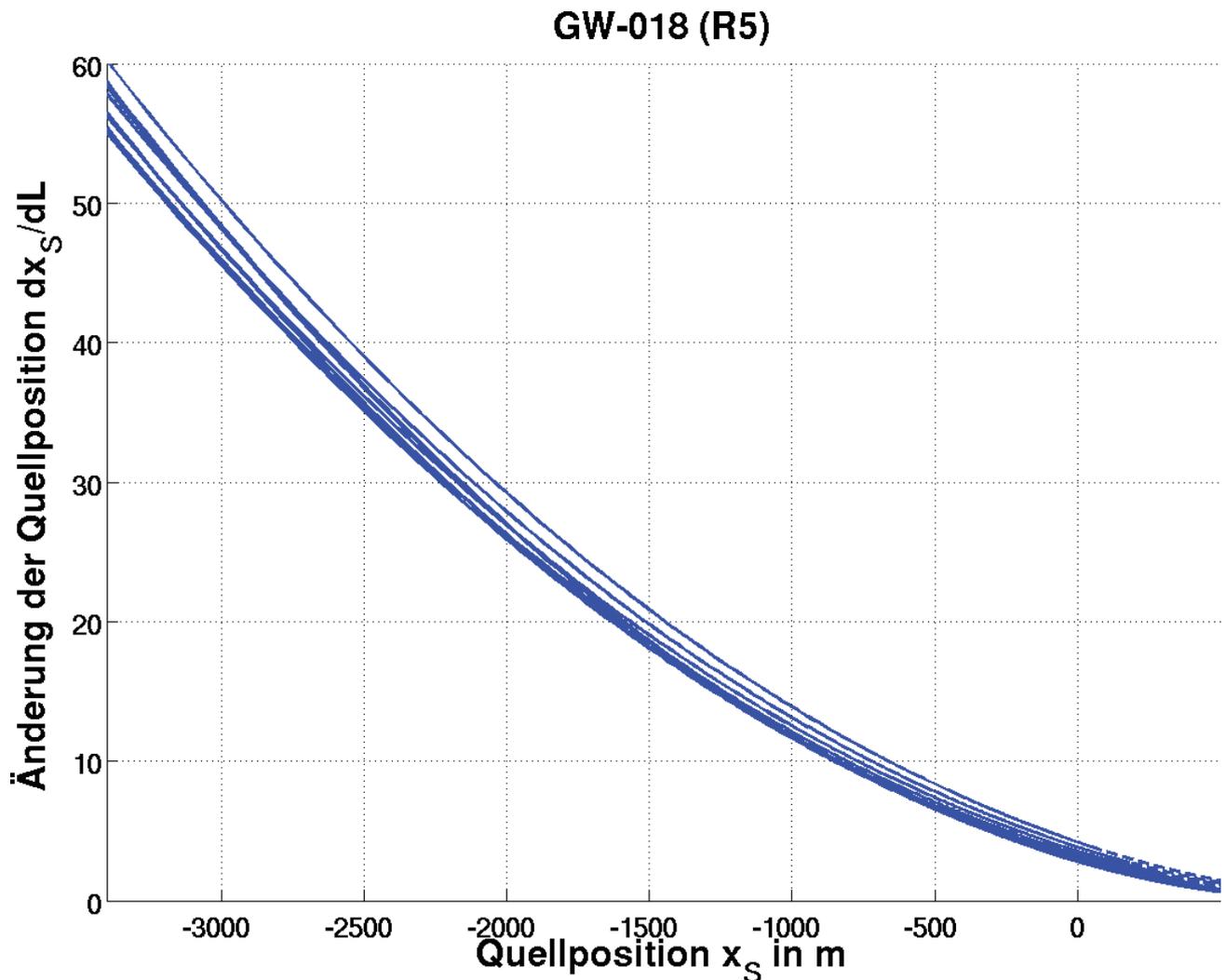


Abbildung 4.2: Bohrung GW-018 (R5). Änderung der Quellposition  $x_S$  in Abhängigkeit von der Position des Reflexionspunktes auf einem geneigten Reflektor. Für die Salzflanke wird basierend auf dem Geologischen Schnitt 2 (Abb. 3.1) im Bereich der Bohrung ein Neigungswinkel von  $65^\circ$  und eine Tiefe von 1360 m unter Geländeoberkante bei  $x_S = 0$  (Bohrlochposition) angenommen. Der dargestellte Abschnitt für  $x_S$  überdeckt den Bereich, in dem Quellenanregungen für die VSP-Messungen vorgesehen sind. Die Graphen zeigen die Änderung für Bohrlochgeophone in 100 m, 180 m, 260 m, 340 m, 420 m, 500 m, 580 m, 660 m und 670 m Tiefe unter Geländeoberkante. Multiplikation des Wertes  $dx_S/dL$  mit dem Abstand der Reflexionspunkte auf dem Reflektor  $\Delta L$  ergibt eine Abschätzung des Quellabstandes  $\Delta S$  an der Stelle  $x_S$ . Gestrichelte Abschnitte beziehen sich auf Positionen des ebenen Modellreflektors, die höher als der obere Rand des Salzes liegen würden.

Abb. 4.2 gibt die Änderung der Quellposition mit der Änderung des Reflexionspunktes auf dem geneigten Reflektor senkrecht zur Streichrichtung an. Die Multiplikation der dargestellten Änderung an einer bestimmten Quellposition mit dem angestrebten Abstand der Reflexionspunkte auf dem Reflektor ergibt eine grobe Abschätzung des erforderlichen Quellpunktabstandes an der Erdoberfläche. Der Abstand der Reflexionspunkte kann sich dabei an der Bin-Größe von 5 m der Oberflächenseismik orientieren. Nordöstlich der Bohrung ( $x_S > 0$ ) entspricht der Abstand der Anregungspunkte ungefähr dem Abstand der Reflexionspunkte auf dem Reflektor (Gebiet A der 3D-Seismik, 50 m). Nach Südwesten nimmt der für die 3D-Seismik geplante Abstand der Anregungslinien von 50 m (Gebiet A) auf 100 m (Gebiet C) und 200 m (Gebiet D) zu. Das Verhältnis von Anregungs- und Reflexionspunktabstand nimmt zum

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 19

südwestlichen Rand des Messgebietes ebenfalls zu und erreicht am Rand des Messgebietes Werte größer als 50 (Abb. 4.2). Ein Verhältnis größer als 50 bei einem Anregungslinienabstand von 200 m bedeutet einen Abstand der Reflexionspunkte auf dem Reflektor, der kleiner als 4 m ist. Dagegen nimmt das Verhältnis von Anregungs- und Reflexionspunkt Abstand nahe der Bohrungen ( $x_S = 0$  in Abb. 4.2) Werte zwischen 1 und 10 an. In diesem Bereich beträgt der Anregungslinienabstand 50 m. Somit ergibt sich ein Abstand der Reflexionspunkte zwischen 5 m und 50 m, wobei sich der Reflexionspunkt Abstand nach NO vergrößert. Der überdeckte Bereich senkrecht zur Streichrichtung lässt sich aus Abb. 4.1 ablesen. Dieser beträgt ca. 700 m entlang des Reflektors. Projiziert an die Erdoberfläche entspricht das einer Strecke von ca. 240 m.

Die Beleuchtung der Südflanke der Asse-Salzstruktur in Streichrichtung wird vom Abstand der Anregungspunkte auf den Anregungslinien bestimmt, da die Ausrichtung der Anregungslinien der Streichrichtung folgt. Der Abstand der Anregungspunkte beträgt auf den Linien im gesamten Messgebiet konstant 10 m. Somit ist der Abstand der zugehörigen Reflexionspunkte in Streichrichtung auf der als eben angenommenen Salzflanke ebenfalls konstant und nimmt Werte kleiner als 10 m an. Der genaue Wert hängt vom Verhältnis der Wellenlaufwege Anregungspunkt-Reflexionspunkt und Reflexionspunkt-Empfängerpunkt ab.

Die Südflanke der Asse-Salzstruktur wird nur von Anregungspunkten im südwestlichen Teil des 3D-Messgebietes beleuchtet. Alle Punkte nordöstlich der Salzstruktur liefern keine direkten Reflexionen der südlichen Salzflanke, die in den Bohrungen aufgezeichnet werden könnten. Darüber hinaus sind für die Abbildung der Deckgebirgsstruktur vor allem steile (unterkritische) Einfallswinkel und Reflexionswinkel an den Schichtgrenzen erforderlich, um refraktierte Wellen entlang der Formationsgrenzen zu vermeiden. Mit dem NW-SO-Streichen der Salzflanke sollte darum der maximale Abstand der Quellpunkte in Streichrichtung in der Größenordnung der maximalen Tiefe des Bohrlochs bzw. des Abstandes zu den abzubildenden Reflektoren liegen. Die Salzflanke ist weniger als 500 m von den Bohrungen entfernt (vgl. Abschnitt 3). Aus diesem Grund bietet sich ein 1000 m breiter Anregungsstreifen in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsgebietes und der verwendeten Bohrlöcher an, so dass die Zielfläche im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 beleuchtet wird. Dieser Streifen setzt sich aus Teilen von 5 benachbarten Anregungsstreifen der 3D-Seismik mit jeweils 200 m Breite zusammen. Da die Bohrlöcher GW-018 und GW-019 gegenüber der Zielfläche leicht nach Südosten verschoben sind, sollte der Anregungsstreifen gegenüber der Zielfläche entsprechend nach Nordwesten versetzt liegen. Für die Bohrung GW-020, die sich nordwestlich der Zielfläche befindet, liefert ein nach Südosten versetzter Anregungsstreifen eine optimale Beleuchtung. Dabei ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen den Bohrungen und den Anregungsstreifen nicht zu groß gewählt wird, damit die Zielfläche vor allem durch unterkritische Reflexionswinkel beleuchtet wird. In Streichrichtung der Salzstruktur überwiegen auf diese Weise kleine bis mittlere Offsets zwischen 0 m und ca. 800 m, während sich die Akquisitionsgeometrie in Richtung des Einfallens durch einen möglichst großen Offset-Bereich von kleinen über mittlere bis hin zu großen Offsets auszeichnet, um die Salzflanke in unterschiedlichen Teufen zu beleuchten und daneben auch Strukturen des Deckgebirges abbilden zu können. Durch die starke Neigung der Salzflanke von ungefähr  $70^\circ$  nach Südwesten ist es erforderlich, alle Quellpositionen bis zum südwestlichen Rand des 3D-Seismik-Messgebietes zu verwenden, so dass sich Offsets zwischen 0 m und 3600 m ergeben. Nach Nordosten können die Anregungspunkte bis etwa 500 m Entfernung von den Bohrungen begrenzt werden. In den nachfolgenden Abbildungen zur Überdeckung verläuft die Begrenzung der für die VSP-Messungen zu verwendenden Anregungspunkte 1000 m südwestlich der Verbindungslinie zwischen den Punkten AIII und AIV. Damit erstreckt sich der Anregungsstreifen über eine Länge von 3900 m senkrecht zum Streichen der Salzstruktur. Die Gebiete mit den Anregungspunkten für VSP-Messungen in den

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH – Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 20
------------------------------	-----------

Bohrungen GW-018 und GW-019 bzw. GW-020 sind in den Abbildungen 4.3 und 4.4 dargestellt. Die zugehörigen Eckkoordinaten sind in den Tabellen 4.1 und 4.2 zusammengefasst. Diese Gebiete umfassen Teile von 49 Anregungslinien, die von NW nach SO in Streichrichtung der Asse-Salzstruktur verlaufen. Mit einem Punktabstand von 10 m ergeben sich 101 Anregungspunkte auf jedem 1000 m langen Abschnitt und insgesamt ca. 5000 Anregungspunkte, die für die VSP-Messungen genutzt werden. Da die 3D-Oberflächenseismik ein sehr dichtes Raster von Anregungspunkten vorsieht, das sich um die Bohrungen erstreckt, ist es nicht notwendig, zusätzliche Anregungspunkte vorzusehen. Neben den Reflexionen von der Salzflanke, die für ein 3D Abbild der reflektierenden Strukturen verwendet werden können, stehen die in den Bohrlöchern aufgezeichneten Daten außerdem für eine Ersteinsatz-Laufzeit-Tomographie zur Verfügung. Aufgrund der Lage der Anregungspunkte und der Bohrlochempfänger kann damit das Geschwindigkeitsmodell für das Deckgebirge im Bereich zwischen den Bohrlochempfängern und der Erdoberfläche verbessert werden.

Im Folgenden wird ein flächenhaftes Überdeckungsschema für verschiedene Akquisitionsgeometrien unter Berücksichtigung der Topographie und der Salzflanke aus dem geologischen Schnitt 2 berechnet. Dabei wird angenommen, dass sich die Topographie und die Salzflanke wie im erweiterten geologischen Schnitt 2 ([12] Asse-GmbH) senkrecht zur Schnittebene fortsetzen lassen. Das ist in erster Näherung gegeben, da der geologische Schnitt 2 ungefähr senkrecht zum Streichen der Salzstruktur verläuft. Die Schnittebene entspricht dabei der Ausrichtung des Messgebietes der 3D-Seismik in NW-SO-Richtung mit einem Azimut von 125°. Die Berechnung der Reflexionspunkte auf der Salzflanke mit den gegebenen Anregungspunkten an der Erdoberfläche und den Empfängerpunkten im Bohrloch wird in Anhang 6 erläutert.

*Tabelle 4.1: Eckpunkte (Gauß-Krüger-Koordinaten) der Fläche mit Anregungspunkten für die VSP-Messungen unter Verwendung der Bohrungen GW-018 und GW-019*

<b>Punkt</b>	<b>Rechtswert (RW)</b>	<b>Hochwert (HW)</b>
AV	4.408.484, 1	5.778.754, 3
AVI	4.409.303, 3	5.778.180, 8
BV	4.407.624, 0	5.777.525, 8
BVI	4.408.443, 2	5.776.952, 2
CV	4.406.935, 8	5.776.542, 6
CVI	4.407.755, 0	5.775.969, 1
DV	4.406.247, 6	5.775.559, 6
DVI	4.407.066, 8	5.774.986, 0

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 21

*Tabelle 4.2: Eckpunkte (Gauß-Krüger-Koordinaten) der Fläche mit Anregungspunkten für die VSP-Messungen unter Verwendung der Bohrung GW-020*

<b>Punkt</b>	<b>Rechtswert (RW)</b>	<b>Hochwert (HW)</b>
AV	4.408.975,6	5.778.410,2
AVI	4.409.794,8	5.777.836,7
BV	4.408.115,5	5.777.181,6
BVI	4.408.934,7	5.776.608,1
CV	4.407.427,3	5.776.198,5
CVI	4.408.246,5	5.775.625,0
DV	4.406.739,1	5.775.215,5
DVI	4.407.558,3	5.774.641,9

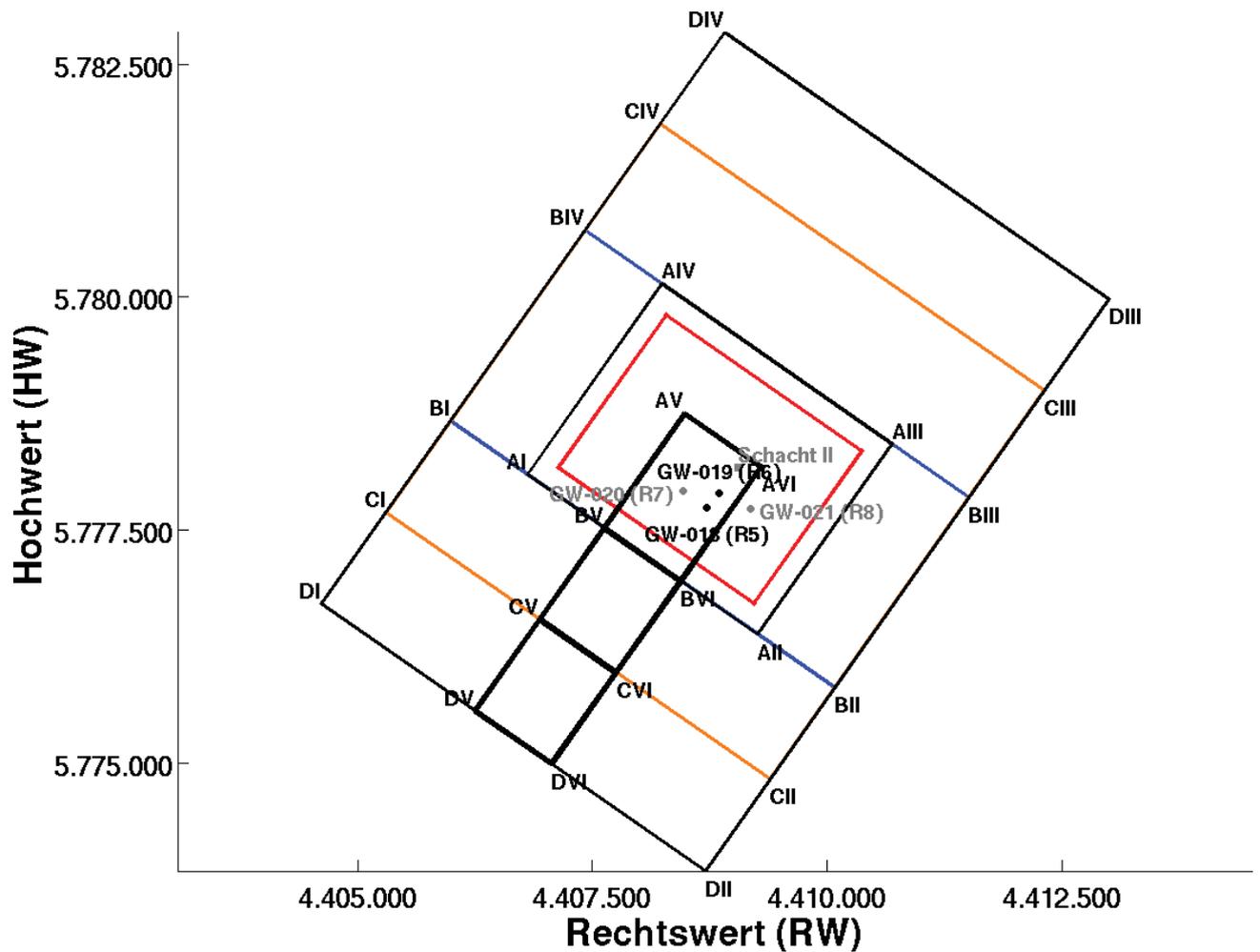


Abbildung 4.3: Messgebiet der 3D-Seismik-Hauptmessung und der VSP-Messung in den Bohrungen GW-018 (R5) und GW-019 (R6). Die Anregungspunkte der 3D-Seismik liegen in den Flächen, die durch die Punkte BI-BII-BIII-BIV (50 m Abstand der Anregungslinien), CI-CII-CIII-CIV (100 m Abstand der Anregungslinien) und DI-DII-DIII-DIV (200 m Abstand der Anregungslinien) aufgespannt werden. Die Quellenregungen in den schwarz umrandeten Flächen mit den Eckpunkten DV-DVI-AVI-AV beleuchten zusammen mit den Bohrlochempfängern in den Bohrungen GW-018 (R5) und GW-019 (R6) die Salzflanke im Zielgebiet.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00



ASSE  
GmbH – Verantwortlich handeln

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 23
------------------------------	-----------

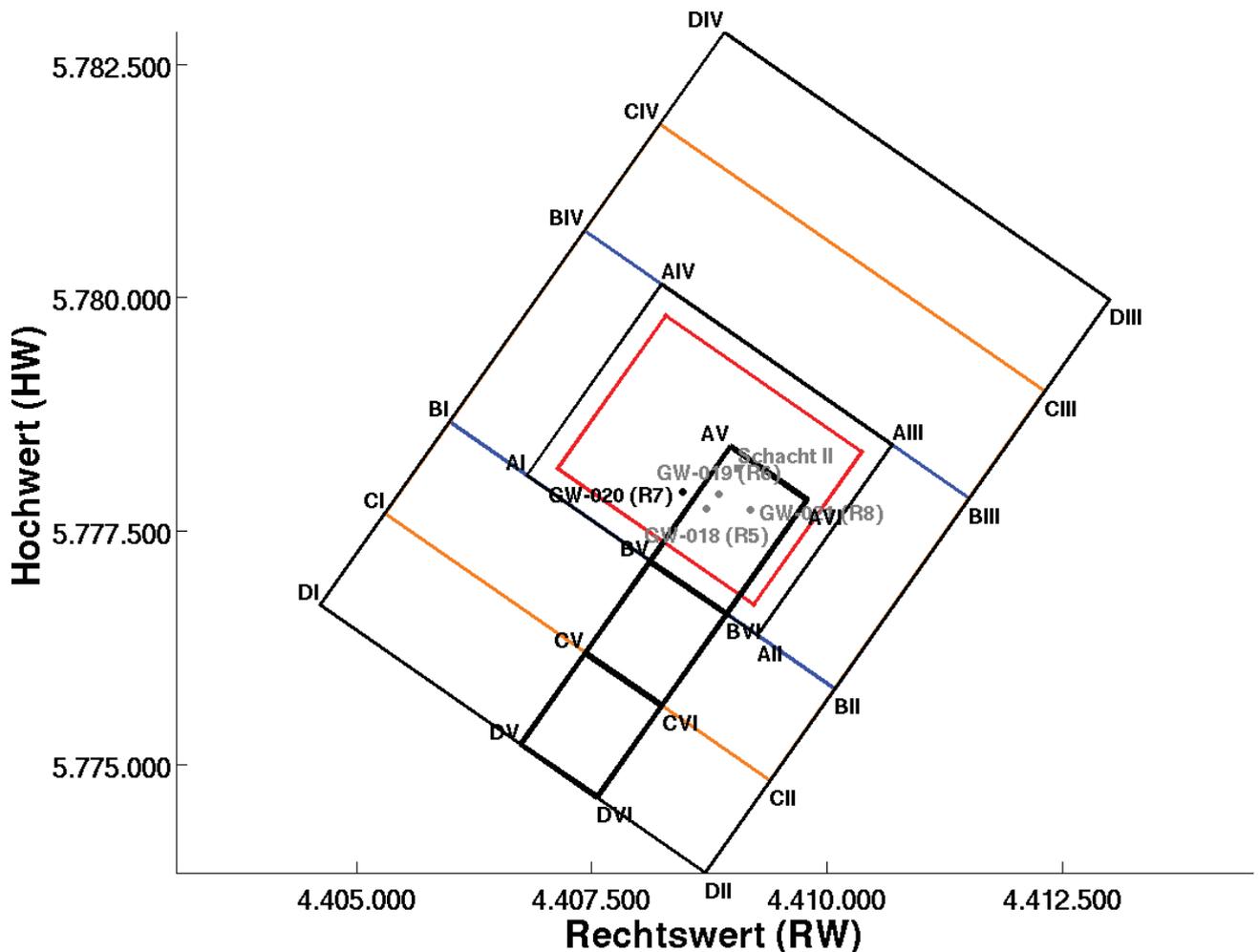


Abbildung 4.4: Messgebiet der 3D-Seismik-Hauptmessung und der VSP-Messung in der Bohrung GW-020 (R7). Die Anregungspunkte der 3D-Seismik liegen in den Flächen, die durch die Punkte BI-BII-BIII-BIV (50 m Abstand der Anregungslinien), CI-CII-CIII-CIV (100 m Abstand der Anregungslinien) und DI-DII-DIII-DIV (200 m Abstand der Anregungslinien) aufgespannt werden. Die Quellanregungen in den schwarz umrandeten Flächen mit den Eckpunkten DV-DVI-AVI-AV beleuchten zusammen mit den Bohrlochempängern in der Bohrung GW-020 (R7) die Salzflanke im Zielgebiet.

Das Überdeckungsschema wird für folgende Varianten der Akquisitionsgeometrie erstellt:

- Variante 1a: Bohrung GW-018 (R5) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 57 Levels zwischen 100 m und 660 m Teufe (Anregung in 5 Streifen),
- Variante 1b: Bohrung GW-018 (R5) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 32 Levels in 2 Messintervallen zwischen 100 m und 410 m Teufe (Anregung in 2 Streifen) und zwischen 350 m und 660 m Teufe (Anregung in 3 Streifen),
- Variante 2a: Bohrung GW-018 (R5) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 57 Levels zwischen 100 m und 660 m Teufe sowie Bohrung GW-019 (R6) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 32 Levels zwischen 130 m und 440 m (Anregung in 5 Streifen),
- Variante 2b: Bohrung GW-018 (R5) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 32 Levels in 2 Messintervallen zwischen 100 m und 410 m Teufe (Anregung in 2 Streifen) und zwischen 350 m und 660 m Teufe (Anregung in 3 Streifen) sowie Bohrung GW-019 (R6) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 32 Levels zwischen 130 m und 440 m (Anregung in allen 5 Streifen),

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 24

- Variante 3: Bohrung GW-019 (R7) mit 1 Multi-Level-Geophonkette mit 47 Levels zwischen 100 m und 560 m Teufe (Anregung in 5 Streifen).

Die 5 Anregungsstreifen mit jeweils 200 m Breite der Varianten 1a, 1b, 2a und 2b sind identisch und überlappen sich mit denen der Variante 3 (vgl. Abb. 4.3 und 4.4). Die Varianten 1a, 2a und 3 verwenden Geophonempfänger, die über die gesamten VSP-Messintervalle verteilt sind, während die Varianten 1b und 2b Geophonketten mit 32-Levels verwenden, so dass in der Bohrung GW-018 ein einmaliges Umsetzen der Geophonkette mit entsprechend verringerter Überdeckung erforderlich ist. Eine einigermaßen gleichmäßige Aufteilung der Anregungspunkte auf zwei Messintervalle ohne Verzögerung des Ablaufs der 3D-Seismik lässt sich am einfachsten realisieren, wenn pro Bohrlochmessintervall jeder zweite Anregungsstreifen verwendet wird. Auf diese Weise kann der Umlauf der Vibro-Fahrzeuge auf den Anregungslinien ohne Verzögerung erfolgen. Ein Versetzen der Bohrlochkette ist dann immer beim Wechsel in den nächsten Anregungsstreifen notwendig. Die Anregungspunkte werden dabei wie folgt auf die zwei Messintervalle verteilt: Da vor allem die unteren Geophonpositionen wichtig für die Abbildung des Salzreflektors sind, werden diese mit Anregungen im 1., 3. und 5. der 5 benachbarten Anregungsstreifen kombiniert. Die Quellpunkte für die oberen Geophonpositionen in der Bohrung GW-018 liegen im 2. und 3. Anregungsstreifen.

Die Berechnung der Überdeckung orientiert sich an der 3D-Seismik mit einer Bin-Größe von 5 m mal 5 m. Durch die konkave Form der Salzflanke beleuchten einzelne Anregungspunkt-Empfängerpunkt-Kombinationen neben dem steilen Flankenabschnitt des Salzes zusätzlich einen Teil der flach auslaufenden Flanke bei größeren Offsets und tragen so zu mehr als einem Bin bei.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GMBH – Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen

Blatt: 25

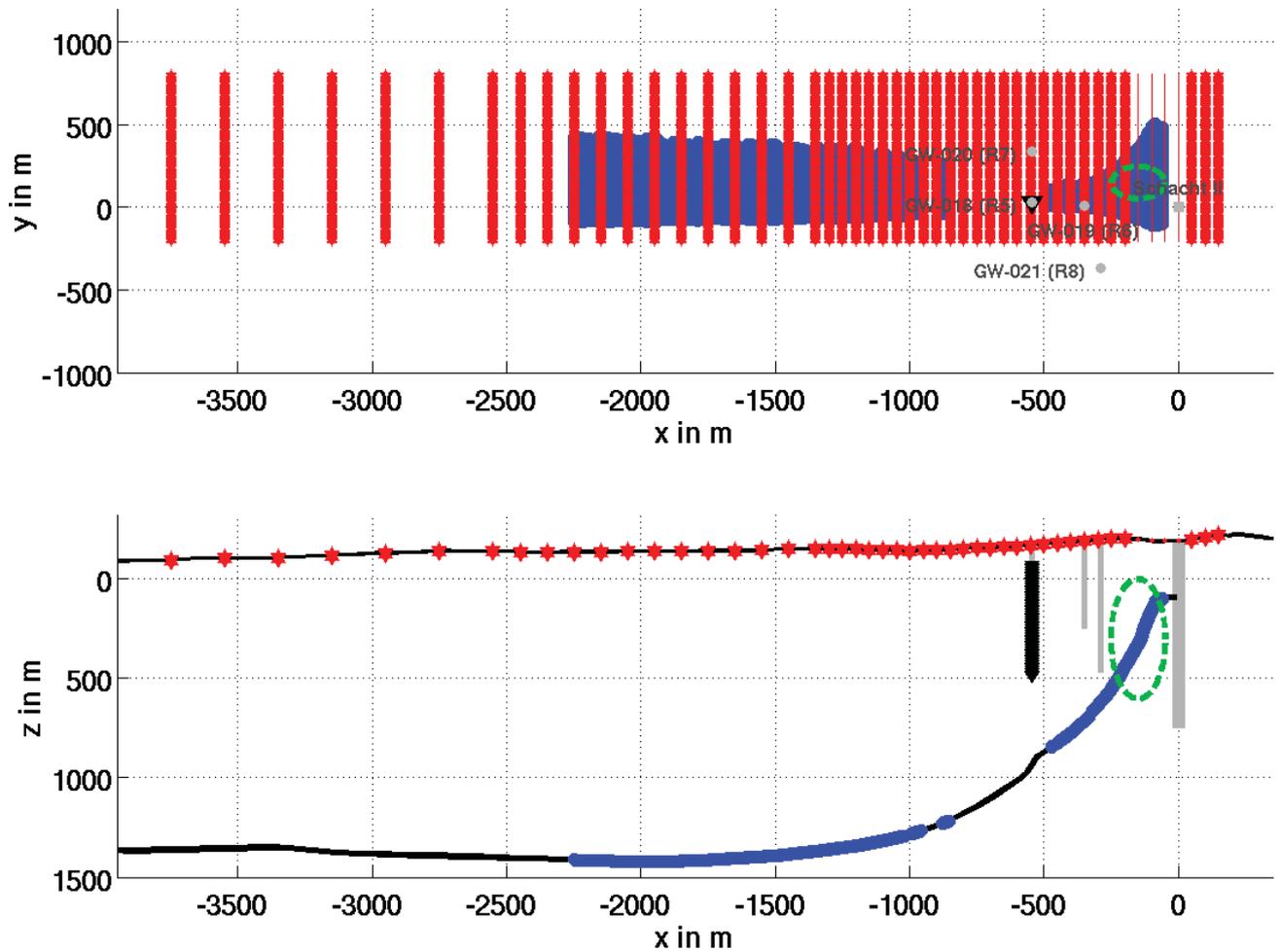


Abbildung 4.5: VSP-Variante 1a. Verwendung einer 57-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Die Quellpositionen an der Erdoberfläche sind rot, die Geophonpositionen schwarz und die zugehörigen Reflexionspunkte auf der südlichen Salzflanke sind blau markiert. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist grün abgegrenzt. Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt  $(x = 0, y = 0)$  markiert die Position des Schachtes Asse II.

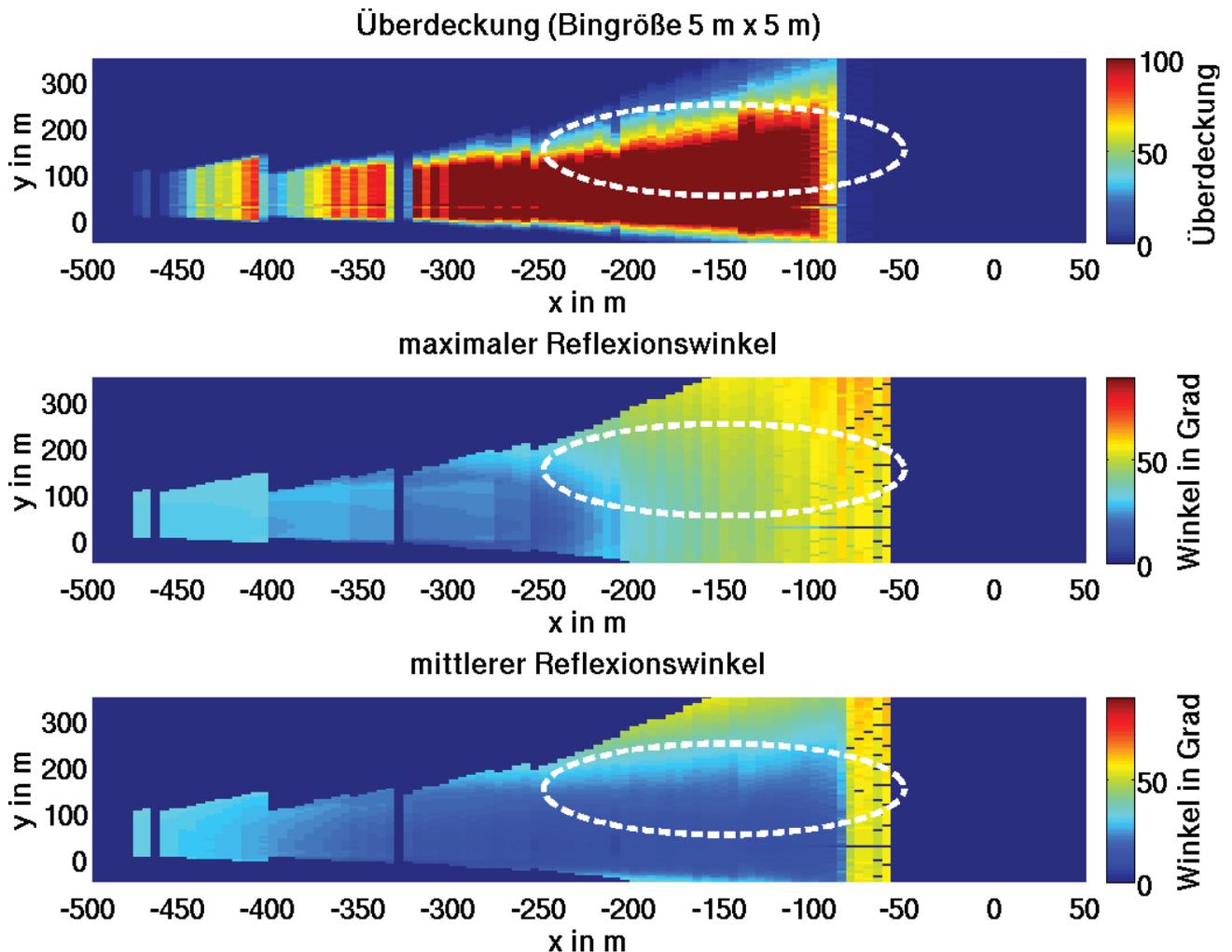


Abbildung 4.6: VSP-Variante 1a. Verwendung einer 57-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Dargestellt sind die Überdeckung der südlichen Salzflanke für 5 m mal 5 m Bins (oben), die auftretenden maximalen Reflexionswinkel (Mitte) und die arithmetisch gemittelten Reflexionswinkel in den Bins (unten). Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt ( $x = 0, y = 0$ ) markiert die Position des Schachtes Asse II. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist weiß umrandet. Maximale Überdeckung: 349 Reflexionspunkte pro Bin, arithmetisches Mittel der Reflexionswinkel:  $23^\circ$ , maximaler Reflexionswinkel:  $67^\circ$ .

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00


  
 ASSE  
GMBH – Verantwortlich handeln

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 27
------------------------------	-----------

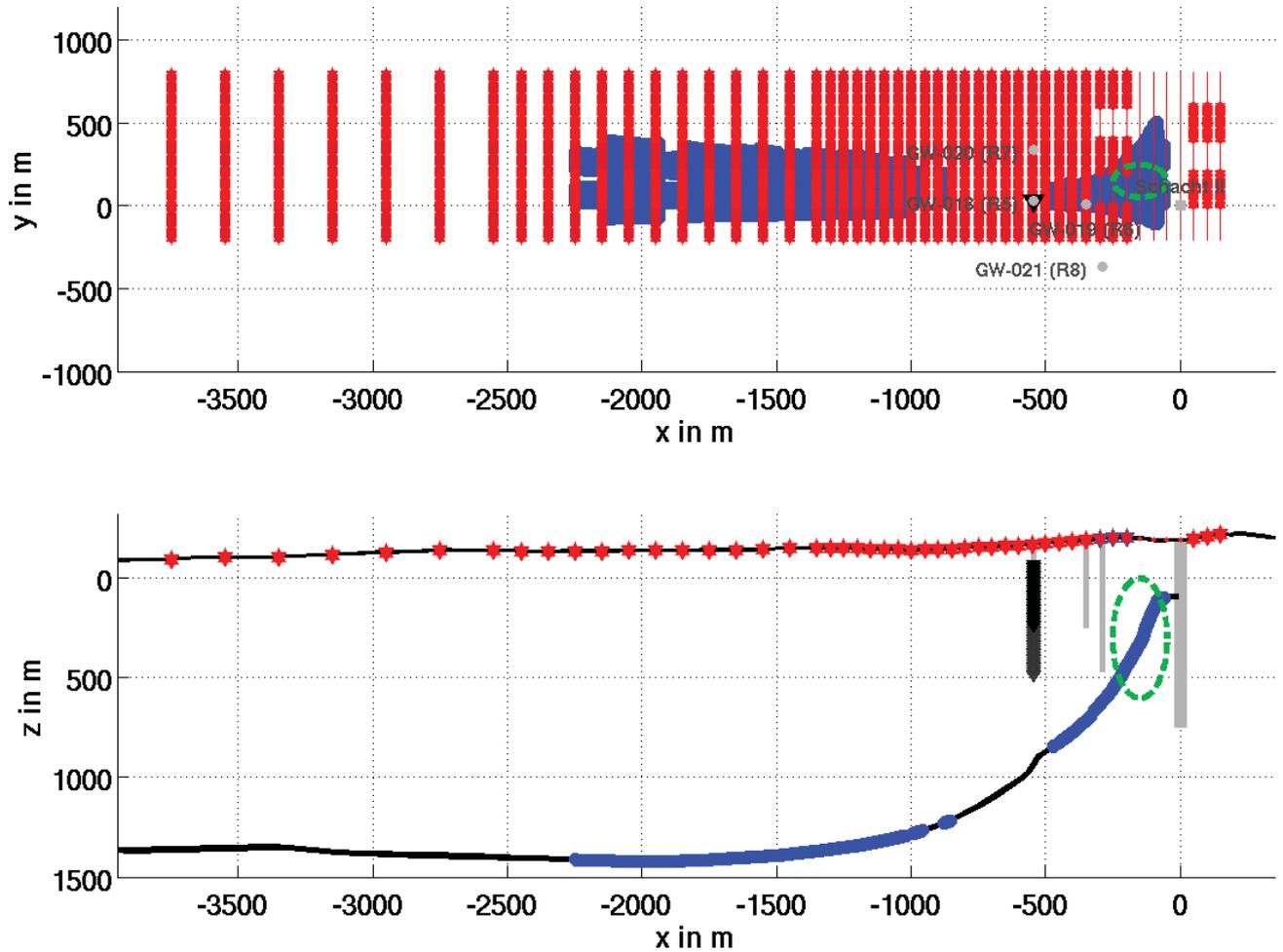


Abbildung 4.7: VSP-Variante 1b. Verwendung von zwei Auslagen einer 32-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Die Quellpositionen an der Erdoberfläche sind rot, die Geophonpositionen schwarz und die zugehörigen Reflexionspunkte auf der südlichen Salzflanke sind blau markiert. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist grün abgegrenzt. Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt  $(x = 0, y = 0)$  markiert die Position des Schachtes Asse II.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 28
------------------------------	-----------

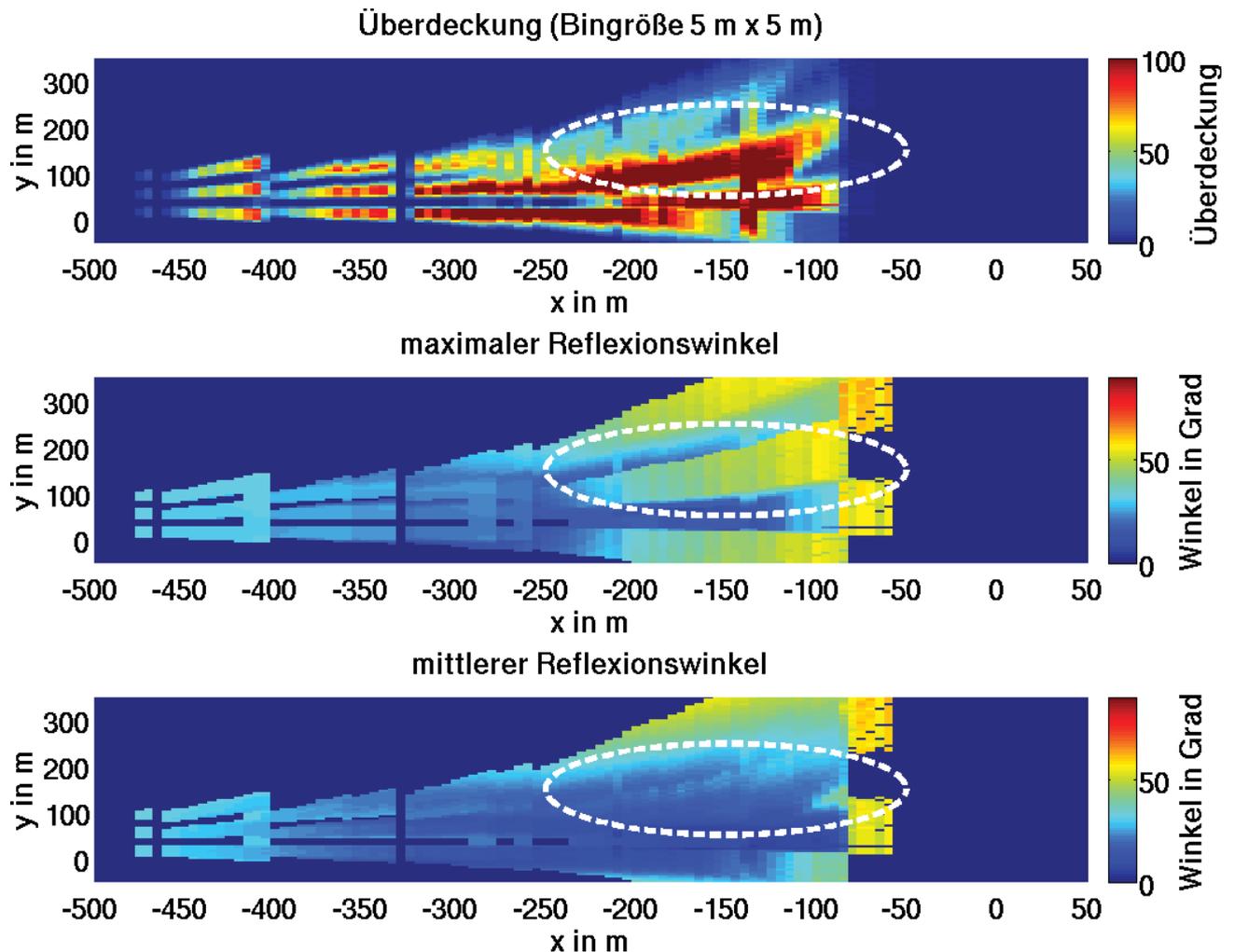


Abbildung 4.8: VSP-Variante 1b. Verwendung von zwei Auslagen einer 32-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Dargestellt sind die Überdeckung der südlichen Salzflanke für 5 m mal 5 m Bins (oben), die auftretenden maximalen Reflexionswinkel (Mitte) und die arithmetisch gemittelten Reflexionswinkel in den Bins (unten). Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt ( $x = 0, y = 0$ ) markiert die Position des Schachtes Asse II. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist weiß umrandet. Maximale Überdeckung: 225 Reflexionspunkte pro Bin, arithmetisches Mittel der Reflexionswinkel:  $24^\circ$ , maximaler Reflexionswinkel:  $64^\circ$ .

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GMBH – Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen

Blatt: 29

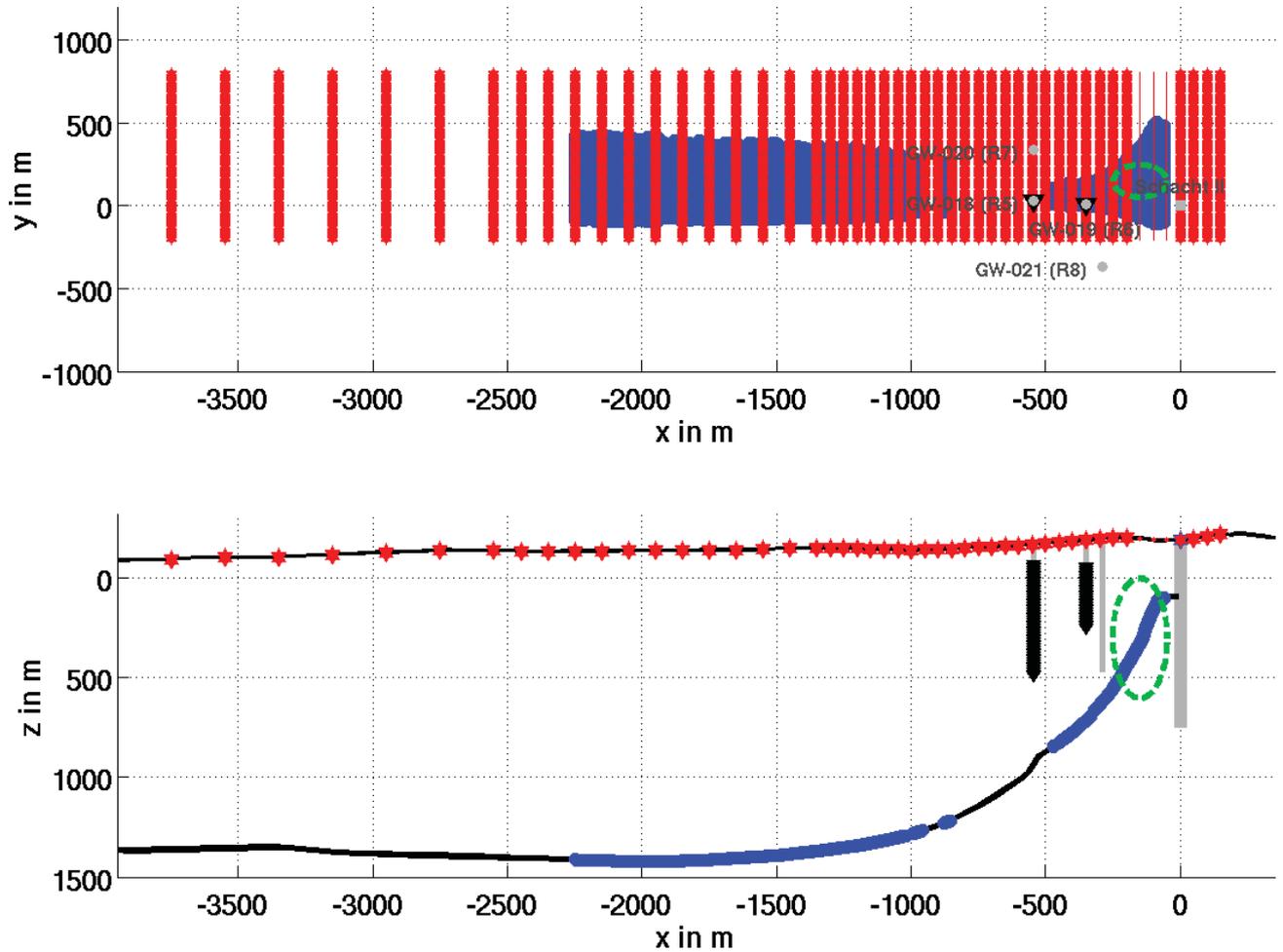


Abbildung 4.9: VSP-Variante 2a. Verwendung einer 57-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018, einer 32-Level-Kette in der Bohrung GW-019 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Die Quellpositionen an der Erdoberfläche sind rot, die Geophonpositionen schwarz und die zugehörigen Reflexionspunkte auf der südlichen Salzflanke sind blau markiert. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist grün abgegrenzt. Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt ( $x = 0, y = 0$ ) markiert die Position des Schachtes Asse II.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GmbH – Verantwortlich handeln.</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 30
------------------------------	-----------

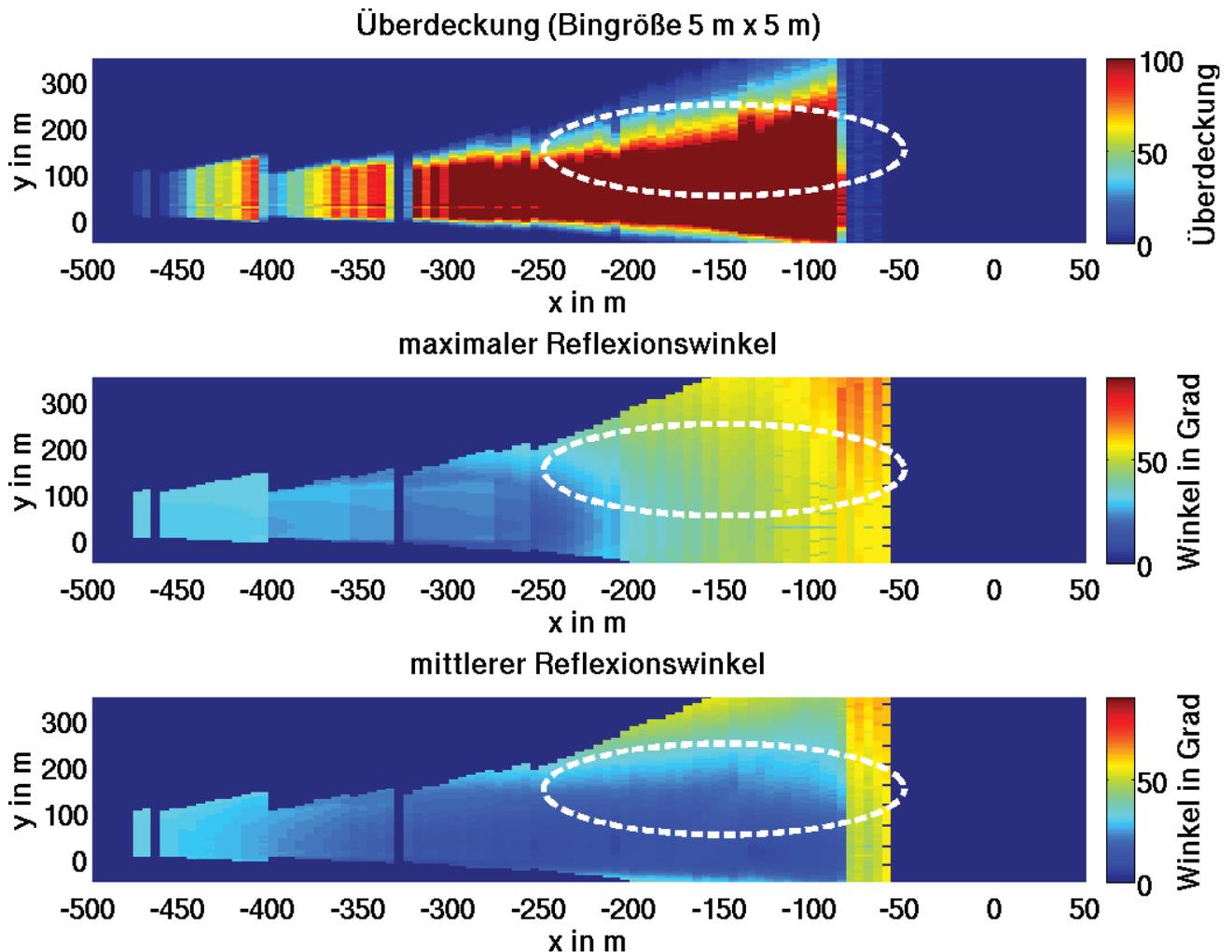


Abbildung 4.10: VSP-Variante 2a. Verwendung einer 57-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018, einer 32-Level-Kette in der Bohrung GW-019 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Dargestellt sind die Überdeckung der südlichen Salzflanke für 5 m mal 5 m Bins (oben), die auftretenden maximalen Reflexionswinkel (Mitte) und die arithmetisch gemittelten Reflexionswinkel in den Bins (unten). Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt ( $x = 0, y = 0$ ) markiert die Position des Schachtes Asse II. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist weiß umrandet. Maximale Überdeckung: 567 Reflexionspunkte pro Bin, arithmetisches Mittel der Reflexionswinkel:  $24^\circ$ , maximaler Reflexionswinkel:  $70^\circ$ .

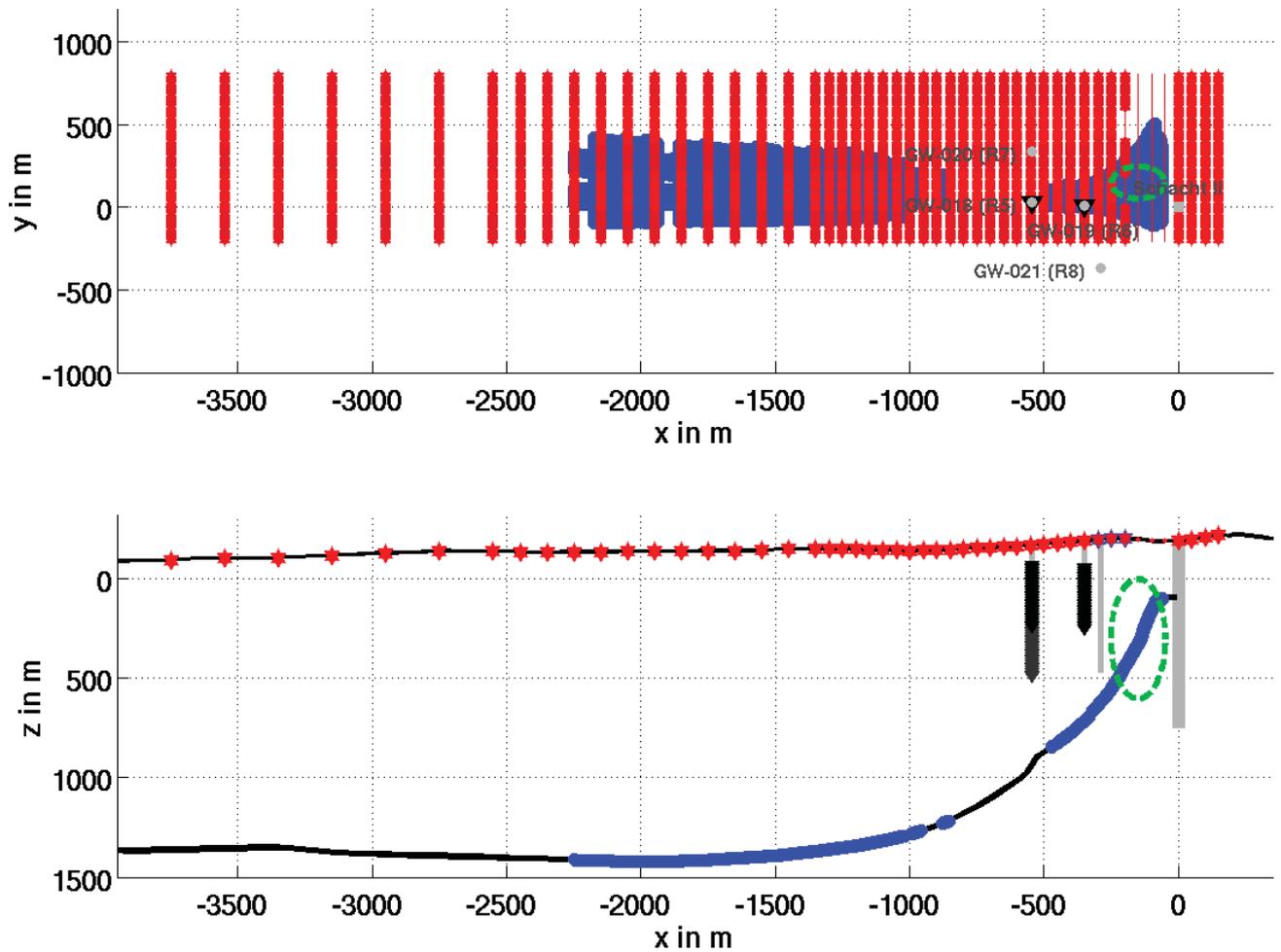


Abbildung 4.11: VSP-Variante 2b. Verwendung von zwei Auslagen einer 32-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018, einer 32-Level-Kette in der Bohrung GW-019 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Die Quellpositionen an der Erdoberfläche sind rot, die Geophonpositionen schwarz und die zugehörigen Reflexionspunkte auf der südlichen Salzflanke sind blau markiert. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist grün abgegrenzt. Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt  $(x = 0, y = 0)$  markiert die Position des Schachtes Asse II. Maximale Überdeckung: 520 Reflexionspunkte pro Bin, arithmetisches Mittel der Reflexionswinkel:  $24^\circ$ , maximaler Reflexionswinkel:  $70^\circ$ .

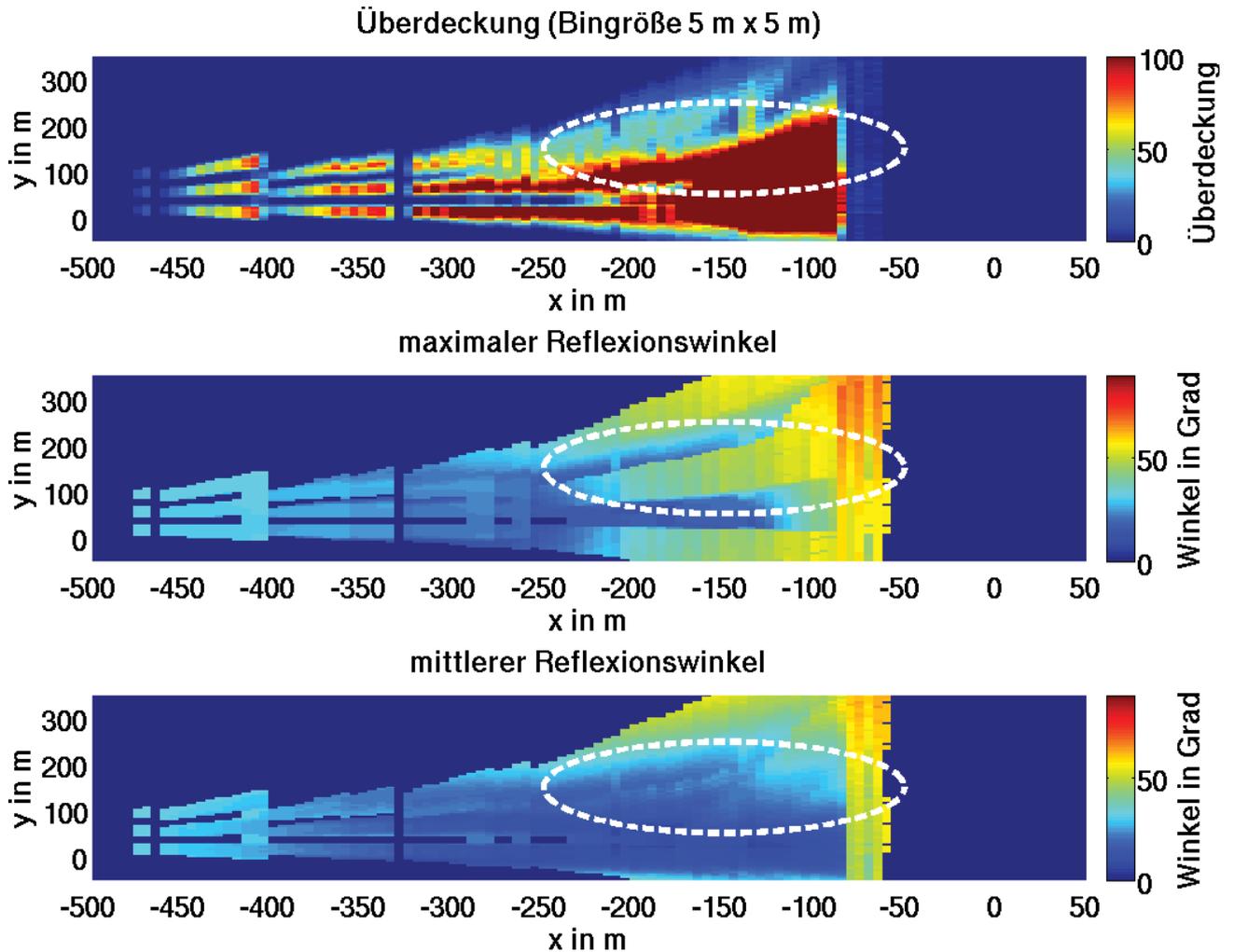


Abbildung 4.12: VSP-Variante 2b. Verwendung von zwei Auslagen einer 32-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-018, einer 32-Level-Kette in der Bohrung GW-019 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Dargestellt sind die Überdeckung der südlichen Salzflanke für 5 m mal 5 m Bins (oben), die auftretenden maximalen Reflexionswinkel (Mitte) und die arithmetisch gemittelten Reflexionswinkel in den Bins (unten). Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt  $(x = 0, y = 0)$  markiert die Position des Schachtes Asse II. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist weiß umrandet.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GMBH – Verantwortlich handeln.</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen

Blatt: 33

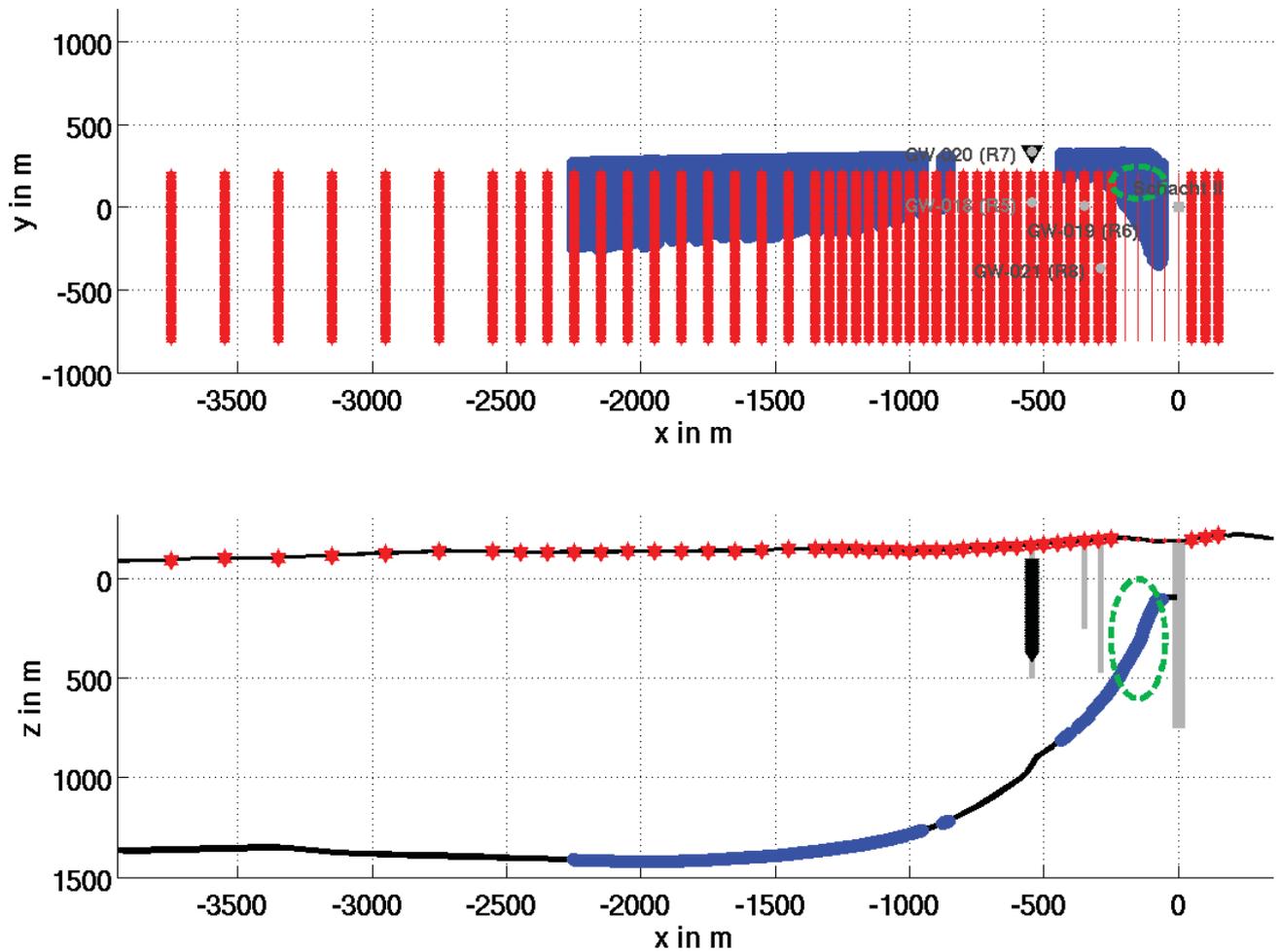


Abbildung 4.13: VSP-Variante 3. Verwendung einer 47-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-020 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Die Quellpositionen an der Erdoberfläche sind rot, die Geophonpositionen schwarz und die zugehörigen Reflexionspunkte auf der südlichen Salzflanke sind blau markiert. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist grün abgegrenzt. Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt  $(x = 0, y = 0)$  markiert die Position des SchachtesASSE II.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 34
------------------------------	-----------

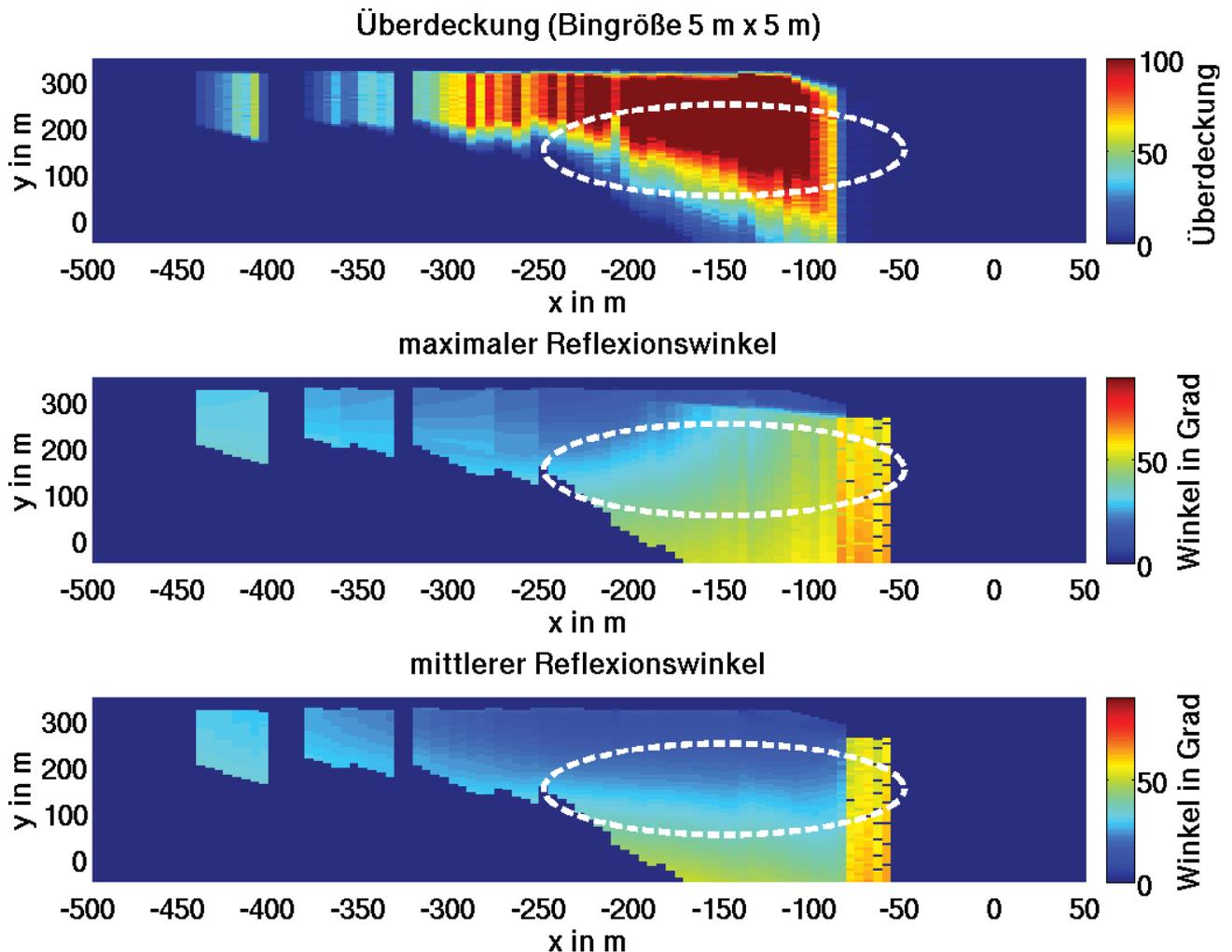


Abbildung 4.14: VSP-Variante 3. Verwendung einer 47-Level-Geophonkette in der Bohrung GW-020 und Anregung in 5 Streifen an der Erdoberfläche (ca. 5000 Anregungspunkte). Dargestellt sind die Überdeckung der südlichen Salzflanke für 5 m mal 5 m Bins (oben), die auftretenden maximalen Reflexionswinkel (Mitte) und die arithmetisch gemittelten Reflexionswinkel in den Bins (unten). Die x-Richtung verläuft senkrecht zum Streichen der Salzflanke. Die y-Richtung entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien. Der Punkt (x = 0, y = 0) markiert die Position des Schachtes Asse II. Das Zielgebiet für die VSP-Messungen ist weiß umrandet. Maximale Überdeckung: 254 Reflexionspunkte pro Bin, arithmetisches Mittel der Reflexionswinkel: 28°, maximaler Reflexionswinkel: 71°.

Mit allen fünf Varianten wird im größten Teil der Zielfläche eine hinreichend gute Überdeckung mit mehr als 50 Reflexionspunkten pro Bin erreicht (Abb. 4.6, 4.8, 4.10, 4.12, 4.14). Abhängig von der Lage der verwendeten Bohrungen liegt der Bereich der maximalen Überdeckung am südöstlichen oder nordwestlichen Rand der Zielfläche (Bohrungen GW-018 und GW-019 bzw. GW-020). Die Varianten 1a und 3 stellen dabei Akquisitionsgeometrien mit minimalem Aufwand dar (jeweils eine einzelne Geophonkette mit 57 bzw. 47 Empfängern in einem Bohrloch). Eine Aufteilung der Messintervalle in der Bohrung GW-018 (Varianten 1b und 2b) hat eine nur unwesentlich niedrigere Überdeckung zur Folge. Mit einer VSP-Messung, die die Bohrungen GW-018 und GW-019 für gleichzeitige Registrierungen nutzt (Varianten 2a und 2b), lässt sich die Überdeckung in Teilbereichen der Zielfläche deutlich erhöhen. Diese VSP-Varianten verwenden die gleichen Anregungsstreifen für die Registrierung in beiden Bohrungen, da sich diese in der gleichen Ebene senkrecht zum Streichen der Salzflanke

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 35

befinden. Somit verändert sich die Dauer der VSP-Datenakquisition gegenüber den Varianten 1a und 1b nicht. Lediglich der Mehraufwand für die gleichzeitige Registrierung in zwei Bohrlöchern ist zu berücksichtigen. Alternativ zu den hier vorgestellten Varianten ist auch eine Kombination von Variante 1a mit Variante 3 denkbar. Eine gleichzeitige Registrierung in den Bohrungen GW-018 und GW-020 würde für das gesamte Messgebiet eine gleichmäßig hohe Überdeckung liefern (entspricht Summe der Überdeckung in den Abbildungen 4.6 und 4.14). Allerdings unterscheidet sich die Lage der Anregungsstreifen für diese beiden Bohrungen, so dass sich die Dauer der VSP-Messungen in diesem Fall deutlich verlängern würde. Anstelle von 5 Anregungsstreifen mit 200 m Breite müsste die Messung auf 8 Streifen ausgedehnt werden.

Die auftretenden Reflexionswinkel reichen in den diskutierten Varianten von 0° (senkrechter Einfall) bis 71° (flacher Einfall) und bewegen sich im Mittel um 23° bis 28°, so dass für den überwiegenden Teil der Reflexionen davon ausgegangen werden kann, dass es sich um unterkritische Reflexionen handelt. Die größten Reflexionswinkel treten am nordöstlichen Rand des Zielgebietes (oberer Rand der Salzflanke) auf, der durch die VSP-Messungen schlecht überdeckt ist. Dieser Bereich wird allerdings durch die 3D-Seismik optimal erfasst.

Bei allen vorgeschlagenen VSP-Varianten ist zu berücksichtigen, dass die Anregungspunkte der 3D-Seismik innerhalb der 7500 m langen Anregungsstreifen nacheinander angefahren werden. Die VSP-Messungen nutzen davon nur einen 3900 m langen Abschnitt auf der südwestlichen Seite des Asse-Höhenzuges. Während die 3D-Seismik-Akquisition im nordöstlichen Teil der Streifen stattfindet, der für die VSP-Messungen nicht von Bedeutung ist, treten Standzeiten für die VSP-Messungen auf.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 36

## 5 Einbindung des Mikroseismik-Netzes der Asse-GmbH in die Seismikmessungen

Die Asse GmbH betreibt ein Seismometernetz bestehend aus permanent registrierenden Dreikomponentenseismometern zur mikroseismischen Überwachung der Schachanlage Asse II. Folglich registriert das Mikroseismik-Netz auch die Anregungen der 3D-Seismik. Der überwiegende Teil der Seismometer befindet sich an verschiedenen Orten im Grubengebäude. Ein Dreikomponentenseismometer befindet sich dauerhaft in der Bohrung GW-019 (R6). Falls dieses Seismometer die VSP-Messungen in dieser Bohrung behindert, kann es für die Zeit der Messungen aus der betreffenden Bohrung entfernt werden, und wenn es mit einem angemessenen technischen Aufwand möglich ist, in eine andere Bohrung mit hoher Priorisierung (siehe Abschnitt 4) umgesetzt werden.

Die Mikroseismik-Daten können für folgende Zwecke verwendet werden:

a) Verbesserung des Geschwindigkeitsmodells der 3D-Seismik durch Ersteinsatz-Laufzeit-tomographie (vgl. VSP-Messungen). Für diesen Zweck kommen grundsätzlich die Aufzeichnungen aller Quellanregungen in Frage. Strahlenwege, die offensichtlich durch größere Teile des Grubengebäudes der Schachanlage Asse II beeinflusst werden, sind aus der Tomographie auszuschließen. Die Lage der Empfänger in der Schachanlage Asse II verspricht eine Verbesserung des Geschwindigkeitsmodells im unmittelbaren Bereich der Grube, welches dann für eine verbesserte Lokalisierung von Mikroseismik-Ereignissen zur Verfügung steht.

b) Reflexionsseismische Auswertung späterer Einsätze (vgl. VSP-Messung). Für die Abbildung der Salzflanke und der geologischen Struktur des Deckgebirges kommen vor allem Empfänger außerhalb des Grubengebäudes in Frage. Die Anforderungen an die Daten und die Auswertung entsprechen den Spezifikationen der VSP-Datenauswertung einschließlich der Anwendung fokussierender Prestack-Tiefenmigrationsverfahren. Da nur ein Empfänger in den Bohrungen außerhalb des Grubengebäudes zur Verfügung steht, ist der Informationsgewinn dieser Variante für die Abbildung der geologischen Struktur relativ gering verglichen mit den VSP-Messungen.

Um die Registrierungen des Mikroseismik-Netzes nutzen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Zeitpunkte erforderlich, an denen die Quellenanregungen erfolgen. Für diesen Zweck muss ein GPS-Zeitsignal mit jeder Quellenanregung mitregistriert werden. Die zugehörige GPS-Zeit muss dabei eine Genauigkeit besser als die Abtastrate der Mikroseismik-Registrierung (1/3200 s) aufweisen. Zudem ist eine Überprüfung beider Anlagen hinsichtlich eines Zeitshifts erforderlich. Außerdem ist der Quell-Sweep für alle Vibroseis-Anregungen sowie Lage und Höhe der Quellenanregungen mit einer Genauigkeit besser als 0,5 m (Lage) bzw. 0,25 m (Höhe) für die Auswertung zur Verfügung zu stellen. Die Lage, Höhe und Ausrichtung der Dreikomponentengeophone (soweit bekannt) sind von der Asse GmbH mit einer Genauigkeit besser als 1 m bzw. 5° zur Verfügung zu stellen. Wenn die Ausrichtung der drei Komponenten, wie im Fall des Bohrlochseismometers, nicht genau bekannt ist, kann diese wie im Abschnitt zu den VSP-Messungen erwähnt aus der Einfallsrichtung und Polarisation der Ersteinsätze von Anregungen bei größeren Offsets abgeschätzt werden.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 37

## 6 Fazit

Zur verbesserten seismischen Abbildung der Asse-Salzstruktur und ihres Deckgebirges kann die 3D-Oberflächenseismik (Hauptmessung) durch VSP-Messungen (Vertical Seismic Profiling) in vorhandenen Bohrungen unter Nutzung eines Teils der Oberflächenanregungspunkte ergänzt werden. Ziel der VSP-Messungen ist vor allem eine hochauflösende Erkundung der Salzflanke im Bereich der Abbaureihen 2 und 3. Für die Platzierung der VSP-Geophonketten eignen sich die Bohrungen GW-018, GW-019 und GW-020 in den Tiefenintervallen bis 660 m, 440 m bzw. 560 m unter Geländeoberkante. Die Minimalvariante einer Multi-Offset-VSP-Messung verwendet nur die Bohrung GW-018. Die Geophonketten bestehen jeweils aus mindestens 32 Dreikomponentenempfängern, die im Abstand von 10 m angeordnet sind. Das zeitliche Abtastintervall der Registrierung beträgt 1 ms. Da die Bohrungen nicht exakt im Zielbereich der Erkundung liegen, sind die zugehörigen Anregungspunkte nicht um die Bohrungen zentriert, sondern leicht verschoben angeordnet, so dass die Salzflanke im Bereich der Abbaureihen 2 und 3 beleuchtet wird. Die Anregungspunkte zu jeder Bohrung liegen in jeweils 1000 m breiten und 3900 m langen Streifen, die sich in Inline-Richtung der 3D-Seismik-Hauptmessung erstrecken. Sie reichen vom zentralen Messgebiet bis zum südwestlichen Rand der 3D-Messauslage. Lage und Höhe der Quellpunkte und der VSP-Empfängerpunkte werden für die Auswertung mit einer Genauigkeit besser als 0,5 m (Lage) bzw. 0,25 m (Höhe) benötigt. Die Quellenregungen der Oberflächenseismik werden daneben vom permanent registrierenden Mikroseismik-Stationsnetz der Asse GmbH aufgezeichnet.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 38
------------------------------	-----------

## 7 Literaturverzeichnis

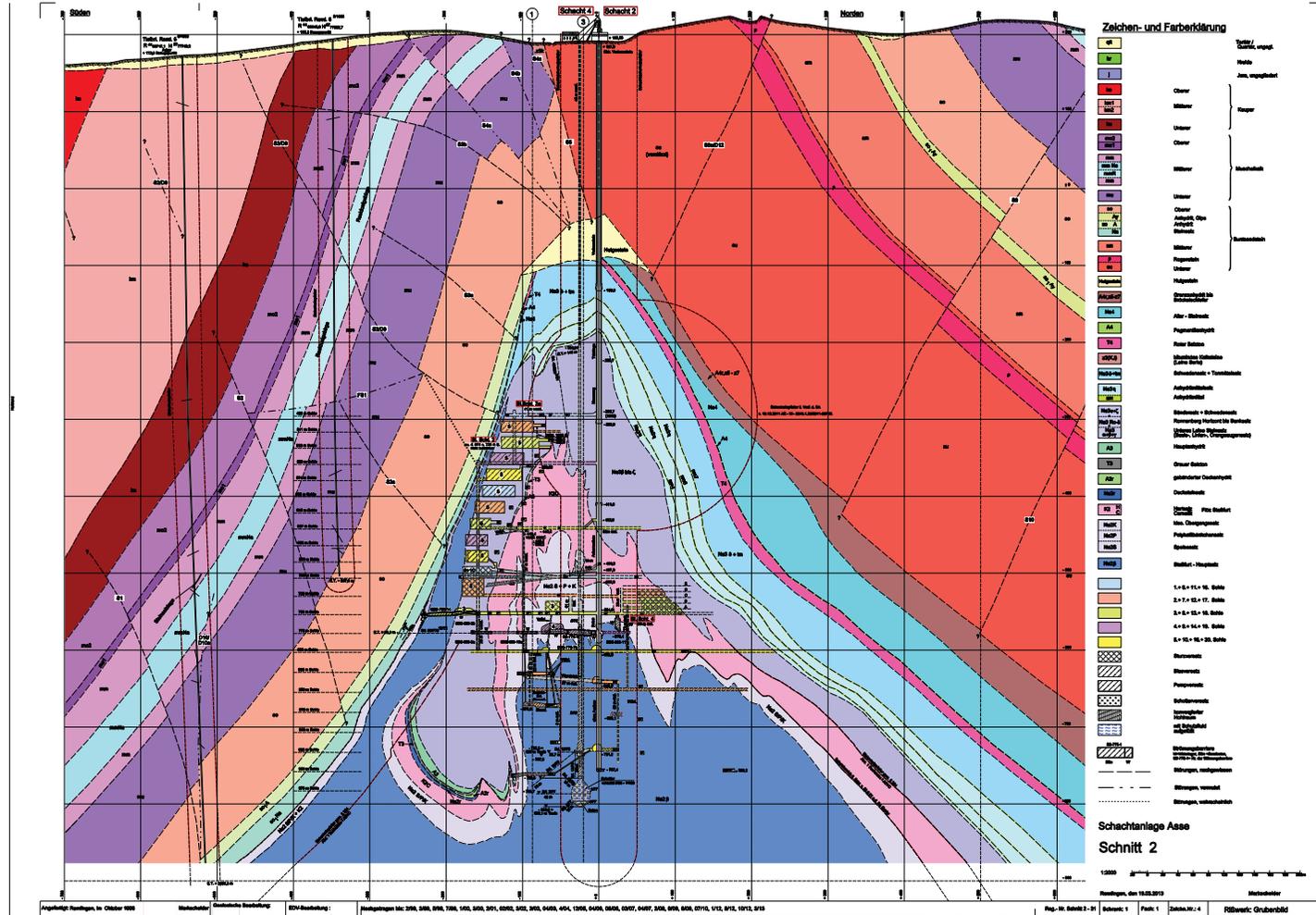
- [1] Geophysik GGD mbH im Auftrag der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH (GSF)  
Seismische Arbeiten zur Strukturerkundung des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse - Hauptphase. Geophysik GGD Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste m.b.H. im Auftrag des GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH  
Stand: 30.04.1998
- [2] Asse-GmbH  
Bericht zur Durchführung der Referenzmessungen an den Grundwassermessstellen des übertägigen Messnetzes  
Stand: 08.09.2014  
Asse-GmbH-KZL: 9A/64212000/HDR/HG/BN/0002/00
- [3] Asse-GmbH  
Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-018  
Stand: 02.09.2012
- [4] Asse-GmbH  
Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-019  
Stand: 03.09.2012
- [5] Asse-GmbH  
Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-020  
Stand: 04.09.2012
- [6] Asse-GmbH  
Kenndatenblatt zur Messstellendokumentation Bohrung GW-021  
Stand: 04.09.2012
- [7] Gesellschaft für Strahlenforschung mbH (GSF)  
Ausbauplan der Bohrung Remlingen 5  
Stand: 26.07.2004
- [8] Gesellschaft für Strahlenforschung mbH (GSF)  
Ausbauplan der Bohrung Remlingen 6  
Stand: 26.07.2004
- [9] Gesellschaft für Strahlenforschung mbH (GSF)  
Ausbauplan der Bohrung Remlingen 7  
Stand: 26.07.2004
- [10] Gesellschaft für Strahlenforschung mbH (GSF)  
Ausbauplan der Bohrung Remlingen 8  
Stand: 26.07.2004
- [11] Geophysik GGD mbH im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz  
Konzeptplanung für die Durchführung einer 3D-seismischen Messung (Hauptmessung) im Gebiet der Schachtanlage Asse II  
Stand: 08.05.2014
- [12] Asse-GmbH  
Schnitt 2 erweitert durch Aufschlüsse aus der Tiefbohrung Remlingen 5 und einem 10 km langen seism. Profil, Maßstab 1:10000. Schrank 5, Fach 3, Zeichnung Nr. 142. Remlingen  
Stand: 19.03.2013

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 39

- [13] Asse-GmbH  
 Geplante Mess- und Zielfläche für die 3D-seismische Hauptmessung, Maßstab 1:25000. Remlingen  
 Stand: 15.01.2014
  
- [14] Asse-GmbH  
 Übertägige seismische Erkundung (Anregungs- und Empfängerlinien), IPS Informations&Planungsservice GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Asse-GmbH, Maßstab 1:40000  
 Stand: 19.03.2015
  
- [15] Asse-GmbH  
 Darstellung vorhandener Bohrungen für VSP-Messungen, Maßstab 1:10000. Remlingen  
 Stand: 27.07.2015

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA4	NNNNNNNNN	NNA4ANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

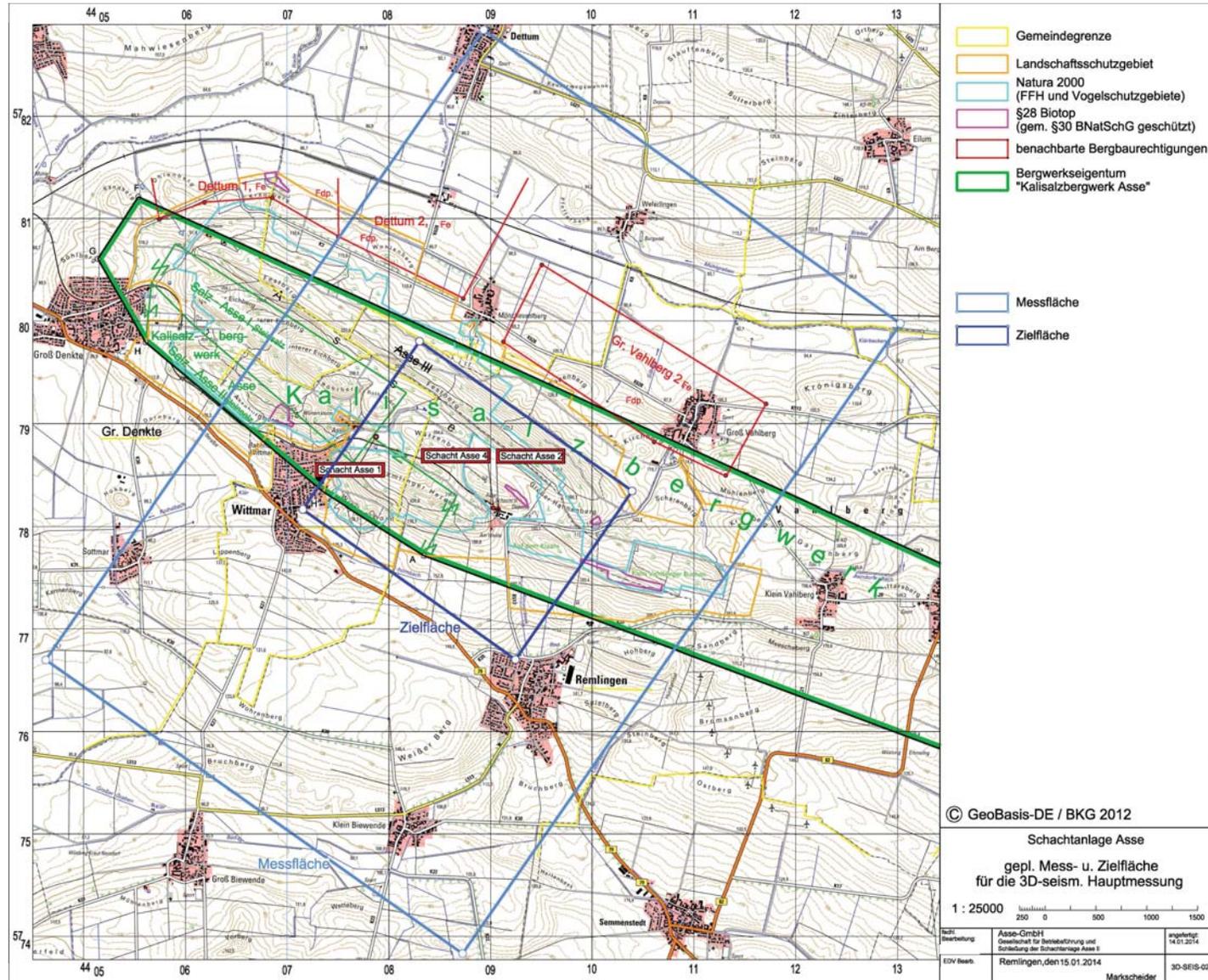
Anhang 1: Geologischer Schnitt 2 (SW-NO-Schnitt)



Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNAA	NNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

Anhang 2: Geplante Mess- und Zielfläche für die 3D-seismische Hauptmessung

[13]



Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NNA	NNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00

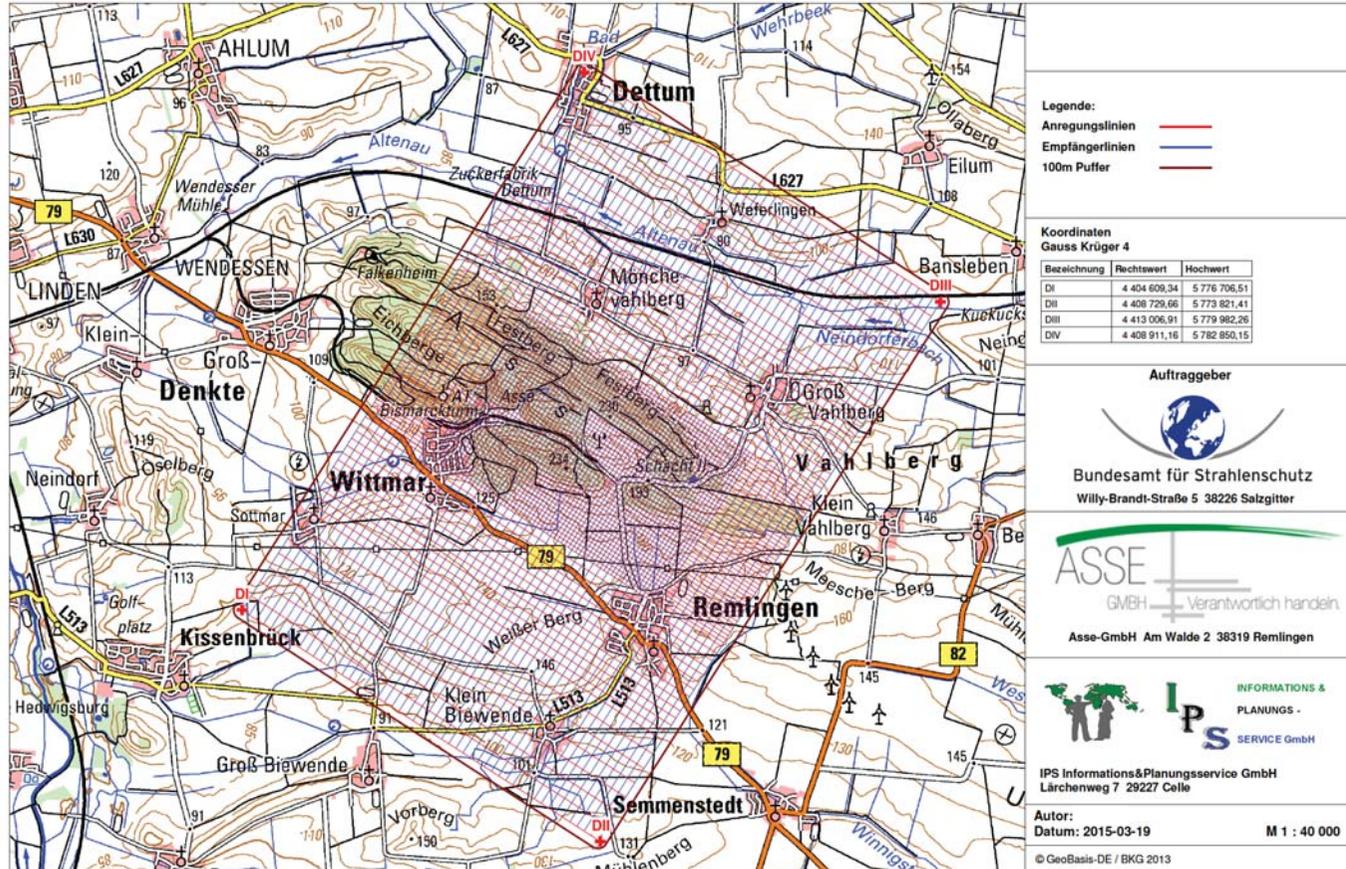


Messkonzept zu VSP-Messungen

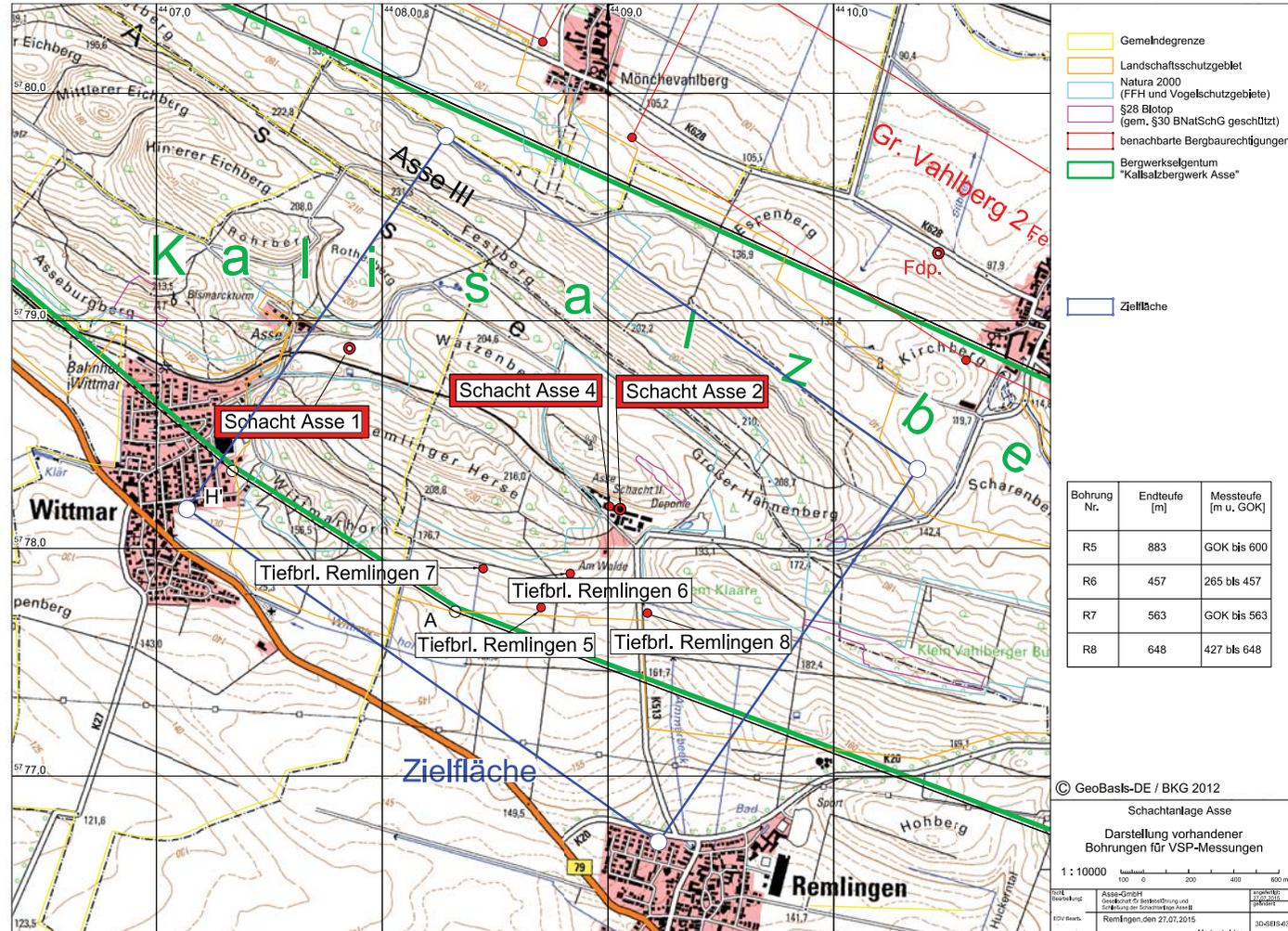
Blatt: 42

Anhang 3: Übertägige seismische Erkundung (Anregungs- und Empfängerlinien)

[14]



Anhang 4: Darstellung vorhandener Bohrungen für VSP-Messungen



Lage der für die VSP-Messungen zur Verfügung stehenden Tiefbohrungen GW-018 (R5), GW-019 (R6), GW-020 (R7) und GW-021 (R8) im Zielgebiet der 3D-seismischen Hauptmessung (Asse GmbH) [15].

### Anhang 5: Herleitung des Zusammenhangs zwischen der Quellposition und der Position des Reflexionspunktes

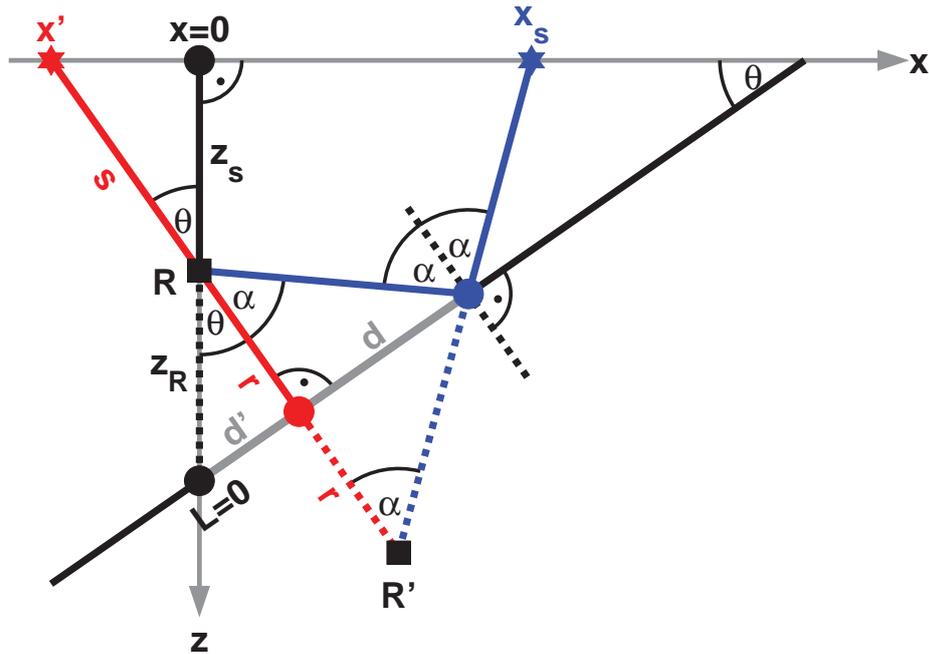


Abbildung 5.1: Zusammenhang zwischen Position von Quelle, Empfänger und Reflexionspunkt für einen geneigten Reflektor bei VSP-Akquisitionsgeometrie

Für die Herleitung der Beziehung zwischen der Quellposition  $x_S$  und der Position des Reflexionspunktes  $L$  auf einem geneigten Reflektor lassen sich aus der Skizze (Abb. 5.1) folgende einfache Beziehungen ablesen:

$$s = \frac{z_S}{\cos \theta} \quad (5.1)$$

$$r = z_R \cos \theta \quad (5.2)$$

$$x' = -z_S \tan \theta \quad (5.3)$$

$$\tan \alpha = \frac{d}{r} \quad (5.4)$$

$$L = d + d' \quad (5.5)$$

$$d' = z_R \sin \theta. \quad (5.6)$$

$z_S$  bezeichnet dabei die Höhe des Quellpunktes über dem Bohrerlochempfänger,  $z_R$  die Tiefe des Schnittpunktes von Bohrerlochachse und Reflektor unter dem Bohrerlochgeophon,  $x_S$  die Quellposition

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 45
------------------------------	-----------

bezogen auf das Bohrloch,  $\theta$  den Neigungswinkel des Reflektors und  $\alpha$  den Reflexionswinkel. Mit dem Sinussatz ergibt sich

$$\begin{aligned}
 \frac{x_S - x'}{\sin \alpha} &= \frac{2r + s}{\sin(90^\circ + \theta - \alpha)} \\
 &= \frac{2r + s}{\cos(\theta - \alpha)} \\
 &= \frac{2r + s}{\cos \theta \cos \alpha + \sin \theta \sin \alpha}.
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Ersetzen der entsprechenden Terme in Gleichung 5.7 mit

$$\sin \alpha = \sin \left( \arctan \left( \frac{d}{r} \right) \right) = \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}} \tag{5.8}$$

$$\cos \alpha = \cos \left( \arctan \left( \frac{d}{r} \right) \right) = \frac{r}{\sqrt{d^2 + r^2}} \tag{5.9}$$

und mit den in den Gleichungen 5.1-5.6 gegebenen Beziehungen liefert

$$\begin{aligned}
 x_S - x' &= (2r + s) \frac{d}{r \cos \theta + d \sin \theta} \\
 &= \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{L - d'}{z_R \cos^2 \theta + (L - d') \sin \theta} \\
 &= \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{L - z_R \sin \theta}{z_R \cos^2 \theta - z_R \sin^2 \theta + L \sin \theta} \\
 &= \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{L - z_R \sin \theta}{z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta}
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

$$x_S = \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{L - z_R \sin \theta}{z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta} - z_S \tan \theta. \tag{5.11}$$

Die Änderung der Quellposition mit der Position des Reflexionspunktes entspricht der Ableitung von  $x_S$  nach  $L$ :

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_S}{dL} &= \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta - (L - z_R \sin \theta) \sin \theta}{(z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta)^2} \\
 &= \left( 2z_R \cos \theta + \frac{z_S}{\cos \theta} \right) \frac{z_R \cos^2 \theta}{(z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta)^2} \\
 &= z_R \cos \theta \frac{2z_R \cos \theta + z_S}{(z_R \cos(2\theta) + L \sin \theta)^2}.
 \end{aligned} \tag{5.12}$$

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE</small> <small>GmbH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 46
------------------------------	-----------

## Anhang 6: Bestimmung des Reflexionspunktes auf einem Reflektor für gegebene Quell- und Empfängerpositionen

Die Koordinaten von Anregungspunkt S, Geophonpunkt R, Spiegelpunkt des Geophonpunktes am Reflektor R' und Reflexionspunkt P werden durch

$$\begin{aligned}
 S: \quad \tilde{x}_S &= (x_S, y_S, z_S)^T \\
 R: \quad \tilde{x}_R &= (x_R, y_R, z_R)^T \\
 R': \quad \tilde{x}_{R'} &= (x_{R'}, y_{R'}, z_{R'})^T \\
 P: \quad \tilde{x}_P &= (x_P, y_P, z_P)^T
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

bezeichnet. Die Reflektorebene E mit dem Punkt  $\tilde{x}_E = (x_E, y_E, z_E)^T$  und der Normalen  $\tilde{n} = (\sin \theta, 0, \cos \theta)^T$  mit  $|\tilde{n}| = 1$  lässt sich als

$$E: (\tilde{x} - \tilde{x}_E) \cdot \tilde{n} = 0 \tag{6.2}$$

darstellen, wobei  $\theta$  die Neigung des Reflektors in der x-z-Ebene ist und „ $\cdot$ “ das Skalarprodukt bezeichnet. Der Abstand r des Geophonpunktes R von der Reflektorebene E ist durch

$$r = (\tilde{x}_R - \tilde{x}_E) \cdot \frac{\tilde{n}}{|\tilde{n}|} \tag{6.3}$$

gegeben. Entsprechend erhält man für den Abstand s des Anregungspunktes S von der Reflektorebene E

$$s = (\tilde{x}_S - \tilde{x}_E) \cdot \frac{\tilde{n}}{|\tilde{n}|} \tag{6.4}$$

Als Bedingung für eine Reflexion an der Ebene E müssen Anregungs- und Empfängerpunkt auf der gleichen Seite von E liegen, d.h. die Bedingung

$$\text{sign}(r) = \text{sign}(s) \tag{6.5}$$

muss erfüllt sein. Der Spiegelpunkt des Geophonpunktes am Reflektor wird durch

$$R': \tilde{x}_{R'} = \tilde{x}_R - 2r \frac{\tilde{n}}{|\tilde{n}|} \tag{6.6}$$

beschrieben. Der Reflexionspunkt P ergibt sich dann als Schnittpunkt der Reflektorebene E mit der Verbindungsgeraden g zwischen dem Quellpunkt S und dem Spiegelpunkt R'

$$g: \tilde{x} = \tilde{x}_S + t(\tilde{x}_{R'} - \tilde{x}_S), \tag{6.7}$$

wobei t ein Parameter der Geraden g ist. Der Schnittpunkt kann durch Einsetzen der Geradengleichung in die Normalendarstellung der Reflektorebene E und Auflösung nach t mit

$$t = \frac{(\tilde{x}_S - \tilde{x}_E) \cdot \tilde{n}}{(\tilde{x}_S - \tilde{x}_{R'}) \cdot \tilde{n}} \tag{6.8}$$

ermittelt werden. Einsetzen des auf diese Weise erhaltenen Wertes für t in die Geradengleichung liefert die Koordinaten des Schnittpunktes P

$$\tilde{x}_P = \tilde{x}_S + \frac{(\tilde{x}_S - \tilde{x}_E) \cdot \tilde{n}}{(\tilde{x}_S - \tilde{x}_{R'}) \cdot \tilde{n}} (\tilde{x}_{R'} - \tilde{x}_S). \tag{6.9}$$

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>GmbH – Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen	Blatt: 47
------------------------------	-----------

Der Reflexionswinkel  $\alpha$  entspricht dem Winkel zwischen der Normalen  $\vec{n}$  der Ebene E und der Richtung der Verbindungsgeraden g zwischen Anregungspunkt S und gespiegeltem Reflexionspunkt R'. Der Winkel lässt sich wie folgt berechnen:

$$\alpha = \arccos \left( \frac{|(\vec{x}_{R'} - \vec{x}_S) \cdot \vec{n}|}{|\vec{x}_{R'} - \vec{x}_S| |\vec{n}|} \right). \quad (6.10)$$

Der Neigungswinkel  $\theta$  des stückweise ebenen Reflektors kann aus jeweils benachbarten Punkten mit den Koordinaten  $(x_1, z_1)$  und  $(x_2, z_2)$  in Tabelle 6.3 berechnet werden:

$$\theta = -\arctan \left( \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \right). \quad (6.11)$$

Für die Berechnung des Überdeckungsschemas wurden die Punkte mit den lokalen Koordinaten aus den Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3 verwendet.

Punkt	x in m	y in m	Tiefe unter NN in m
Schacht Asse II	0	0	–
Bohrung GW-018 (R5)	–545	30	–173
Bohrung GW-019 (R6)	–349	10	–193
Bohrung GW-020 (R7)	–547	340	–182
Bohrung GW-021 (R8)	–291	–365	–171
57 VSP-Empfänger in GW-018	–545	30	–73 bis 487 <sup>1)</sup>
32 VSP-Empfänger in GW-018 (oberes Messintervall)	–545	30	–73 bis 237 <sup>1)</sup>
32 VSP-Empfänger in GW-018 (unteres Messintervall)	–545	30	177 bis 487 <sup>1)</sup>
32 VSP-Empfänger in GW-019	–349	10	–63 bis 247 <sup>1)</sup>
47 VSP-Empfänger in GW-020	–547	340	–82 bis 378 <sup>1)</sup>
Anregungspunkte für GW-018/GW-019 (1. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	–200 bis 0 <sup>1)</sup> –200 bis 0 <sup>1)</sup> –200 bis 0 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)
Anregungspunkte für GW-018/GW-019 (2. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	0 bis 200 <sup>1)</sup> 0 bis 200 <sup>1)</sup> 0 bis 200 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)
Anregungspunkte für GW-018/GW-019 (3. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	200 bis 400 <sup>1)</sup> 200 bis 400 <sup>1)</sup> 200 bis 400 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)
Anregungspunkte für GW-018/GW-019 (4. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	400 bis 600 <sup>1)</sup> 400 bis 600 <sup>1)</sup> 400 bis 600 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)
Anregungspunkte für GW-018/GW-019 (5. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	600 bis 800 <sup>1)</sup> 600 bis 800 <sup>1)</sup> 600 bis 800 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)
Anregungspunkte für GW-020 (5. Anregungsstreifen)	–3750 bis –2550 <sup>2)</sup> –2450 bis –1350 <sup>3)</sup> –1300 bis 150 <sup>4)</sup>	–800 bis 200 <sup>1)</sup> –800 bis 200 <sup>1)</sup> –800 bis 200 <sup>1)</sup>	5) 5) 5)

Tabelle 6.1: Lokale Koordinaten für Anregungspunkte und VSP-Empfänger zur Berechnung des Überdeckungsschemas bezogen auf den Schacht Asse II. x bezeichnet die Richtung senkrecht zu den Anregungslinien von SW nach NO. y entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien parallel zum Streichen der Salzflanke von SO nach NW.

<sup>1)</sup> in 10 m-Schritten, <sup>2)</sup> in 200 m-Schritten, <sup>3)</sup> in 100 m-Schritten, <sup>4)</sup> in 50 m-Schritten, <sup>5)</sup> auf die Topographie in Tabelle 6.2 linear interpoliert.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen

Blatt: 48

Punkt	x in m	Tiefe unter NN in m	Punkt	x in m	Tiefe unter NN in m
T1	-4000	-92	T41	-79	-190
T2	-3852	-94	T42	-72	-191
T3	-3756	-96	T43	-19	-194
T4	-3648	-106	T44	33	-192
T5	-3448	-107	T45	56	-205
T6	-3277	-111	T46	169	-226
T7	-3221	-119	T47	190	-219
T8	-3088	-123	T48	213	-226
T9	-2959	-132	T49	228	-224
T10	-2843	-134	T50	333	-208
T11	-2737	-145	T51	341	-206
T12	-2676	-142	T52	405	-203
T13	-2542	-142	T53	414	-204
T14	-2404	-134	T54	458	-211
T15	-2197	-139	T55	534	-221
T16	-1967	-141	T56	576	-218
T17	-1601	-145	T57	597	-216
T18	-1538	-148	T58	633	-208
T19	-1473	-152	T59	681	-200
T20	-1288	-154	T60	790	-175
T21	-1251	-156	T61	866	-168
T22	-1120	-149	T62	980	-156
T23	-1026	-145			
T24	-1003	-144			
T25	-909	-147			
T26	-886	-148			
T27	-868	-149			
T28	-796	-156			
T29	-766	-160			
T30	-753	-160			
T31	-720	-160			
T32	-695	-160			
T33	-648	-163			
T34	-534	-174			
T35	-335	-197			
T36	-262	-206			
T37	-215	-208			
T38	-147	-203			
T39	-99	-192			
T40	-93	-191			

Tabelle 6.2: Lokale Koordinaten der Topographie aus dem erweiterten geologischen Schnitt 2 bezogen auf den Schacht Asse II ( $x = 0, y = 0$ ).  $x$  bezeichnet die Richtung senkrecht zu den Anregungslinien von SW nach NO.  $y$  entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien parallel zum Streichen der Salzflanke von SO nach NW. Die Topographie wird zur Berechnung der Überdeckung als invariant in  $y$ -Richtung angenommen.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	

Messkonzept zu VSP-Messungen

Blatt: 49

Punkt	x in m	Tiefe unter NN in m	Punkt	x in m	Tiefe unter NN in m
S1	-4000	1365	S41	-134	268
S2	-3909	1367	S42	-112	191
S3	-3737	1362	S43	-83	109
S4	-3551	1356	S44	-58	98
S5	-3376	1351	S45	-30	92
S6	-3314	1354	S46	-10	92
S7	-3134	1377			
S8	-3042	1382			
S9	-2811	1390			
S10	-2628	1397			
S11	-2442	1406			
S12	-2249	1413			
S13	-2057	1421			
S14	-1936	1423			
S15	-1758	1414			
S16	-1492	1391			
S17	-1335	1367			
S18	-1187	1340			
S19	-1090	1314			
S20	-1016	1290			
S21	-954	1265			
S22	-853	1217			
S23	-748	1143			
S24	-686	1091			
S25	-585	1002			
S26	-561	970			
S27	-537	915			
S28	-522	891			
S29	-466	840			
S30	-403	778			
S31	-358	724			
S32	-332	689			
S33	-321	666			
S34	-278	601			
S35	-254	561			
S36	-210	470			
S37	-207	455			
S38	-186	410			
S39	-163	356			
S40	-136	294			

Tabelle 6.3: Lokale Koordinaten der südlichen Salzflanke aus dem erweiterten geologischen Schnitt 2 bezogen auf den Schacht Asse II ( $x = 0, y = 0$ ).  $x$  bezeichnet die Richtung senkrecht zu den Anregungslinien von SW nach NO.  $y$  entspricht der Ausrichtung der Anregungslinien parallel zum Streichen der Salzflanke von SO nach NW. Der Salzreflektor wird zur Berechnung der Überdeckung als invariant in  $y$ -Richtung angenommen.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 50

## Anhang 7: Zusätzliche Hinweise für die Erstellung der Ausschreibung

### Topographische Vermessung

Die topographische Vermessung der für die VSP-Messungen relevanten Anregungspunkte ist Bestandteil der 3D-Seismik-Hauptmessung. Für die VSP-Messungen werden die Lage im Gauß-Krüger-System mit einer Genauigkeit besser als 0,5 m und die topographische Höhe mit einer Genauigkeit besser als 0,25 m benötigt. Um die Position der Bohrlochgeophone zu erfassen, werden zusätzlich Lage und topographische Höhe der Bohrlochbezugspunkte mit einer Genauigkeit besser als 0,5 m bzw. 0,25 m benötigt. Die an der Winde für die Positionierung der Bohrlochgeophone angezeigte Teufe ist auf die ausgewiesenen und vermessenen Bohrlochbezugspunkte zu beziehen. Die Abweichung zwischen vorgegebener Teufe der Geophonpunkte und der tatsächlichen Position sollte besser als 1 m sein. Aus den Bohrungsdokumentationen geht nicht hervor, ob die Bohrungen nahezu vertikal verlaufen oder ob eine Abweichung von der Position des Bezugspunktes mit zunehmender Teufe durch eine Neigung des Bohrlochs vorhanden ist. Um die Lage der Bohrlochgeophone genau zu erfassen, ist außerdem die Neigung (Inklination, Azimut) des Bohrlochs tiefenabhängig zwischen der Geländeoberkante und der tiefsten Geophonposition mit geeigneten Mitteln zu bestimmen.

### VSP-Messung

#### Seismische Messungen und Akquisitionsparameter / Mindestanforderungen an die Ausrüstung

Die angegebenen Akquisitionsparameter beziehen sich auf die Ausführung der Messungen und sind während des gesamten Messbetriebes einzuhalten. Sollten Änderungen bei der Ausführung erforderlich sein, bedürfen diese der Absprache mit dem AG (Auftraggeber) und müssen schriftlich im Tagesprotokoll und im Endbericht festgehalten, sowie im Geometrie-Datensatz eindeutig fixiert werden.

- Aufnahmeapparatur:  
moderne telemetrische Apparatur mit 24-Bit-Dynamik und Auflösung
- Anzahl Registrierkanäle:  
Variante 1a: 171 (57 Level)  
Variante 1b: 96 (32 Level)  
Variante 2a: 171 + 96 (57 Level+32 Level)  
Variante 2b: 96 + 96 (32 Level+32 Level)
- Geophontyp:  
Dreikomponentengeophon
- Abstand der Geophon-Level:  
10 m
- Auslage:  
Variante 1a: 100 m bis 660 m unter Bezugspunkt (GW-018)  
Variante 1b: 100 m bis 410 m und 350 m bis 660 m unter Bezugspunkt (GW-018)  
Variante 2a: 100 m bis 660 m unter Bezugspunkt (GW-018) sowie 130 m bis 440 m unter Bezugspunkt (GW-019)  
Variante 2b: 100 m bis 410 m und 350 m bis 660 m unter Bezugspunkt (GW-018) sowie 130 m bis 440 m unter Bezugspunkt (GW-019)

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 51

- Sampling-Intervall:  
1 ms
- Aufzeichnungsdauer:  
10 s (Sweepplänge) + 4 s (Registrierung)
- Polarität:  
Polarität SEG Standard (zu testen und nachzuweisen)
- Filter:  
Notchfilter aus  
Tiefpassfilter 0,8 x Nyquistfrequenz, linearphasig  
Hochpassfilter aus
- Aufzeichnungstyp:  
Diversity Stack nach Test mit anschließender Korrelation
- Datenformat, Speichermedium:  
SEG-D oder SEG-Y, USB-Festplatte
- Energieanregung (durch 3D-Seismik vorgegeben):  
Vibroseeis-Anregung mit 1 Vibrator bzw. alternativ Sprenganregung in Bohrlöchern
- Sweep:  
Frequenzbereich 8 Hz bis 150 Hz  
Dauer 10 s  
Taper 300 ms am Anfang und am Ende  
Polarität SEG Standard  
6 Sweeps pro Messpunkt
- Sprenganregung:  
Bohrlochtiefe tiefer als 6 m unter GOK (6 m bis 15 m)  
Sprengstoffmenge 500 g bis 1 kg (nach Test)
- Anzahl der Anregungslinien, die für die VSP-Messungen verwendet werden:  
31 (Bereich A), 12 (Bereich C), 6 (Bereich D), jeweils in Streichrichtung der Asse-Salzstruktur (NW-SO, Azimut ca. 125°)
- Abstand der Anregungspunktlinien:  
50 m (Bereich A), 100 m (Bereich C), 200 m (Bereich D)
- Anzahl der Anregungspunkte pro Linie, die für die VSP-Messungen genutzt werden:  
101 in 5 200 m breiten Streifen in der Nähe der Bohrungen GW-018 und GW-019
- Abstand der Anregungspunkte pro Linie:  
10 m

Vor Beginn der seismischen Messungen ist ein Start-up-Test für die endgültige Festlegung oder Neuanpassung von Anzahl der Sweeps pro Vibratorpunkt, Sweepfrequenzen, Filtereinstellungen und Noise-Reduktionsparametern etc. einzuplanen.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH</small> <small>Verantwortlich handeln</small>
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 52

## Qualitätskontrolle und deren Dokumentation

Der AN (Auftragnehmer) ist dafür verantwortlich, dass alle technischen Spezifikationen und Abläufe eingehalten und für spätere Prüfungen dokumentiert werden. Abweichungen und Fehler sowie Beeinträchtigungen der Datenqualität sind dem AG unverzüglich anzuzeigen.

Die Qualitätskontrolle jedes Empfängers wird durch die Aufnahmeapparatur gewährleistet und auf einem wechselbaren Speichermedium archiviert.

Die Amplituden der Geophonsignale werden in absoluten Einheiten kalibriert aufgezeichnet. Die Verstärkung (welche Amplitude der Bodenbewegung entspricht wie viel mV) ist zu dokumentieren.

Vor erstmaliger Aufnahme des Messbetriebes ist vom AN ein umfangreicher Gerätetest durchzuführen und zu dokumentieren, um zu gewährleisten, dass die Messapparatur, insbesondere die Bohrlochgeophone, mängelfrei sind und den vom Hersteller angegebenen Spezifikationen (Innenwiderstand, Eigenfrequenz, Dämpfung, Empfindlichkeit, Verzerrung) innerhalb der angegebenen Toleranzbereiche genügen. Es ist nachzuweisen, dass die mängelfrei getesteten Bohrlochgeophone vor Beginn der Messungen seit dem Test nicht in Gebrauch waren. Die Geophone müssen eindeutig bezeichnet und den durchgeführten Tests zuzuordnen sein. Die Testergebnisse sind zur Prüfung vorzuhalten.

Darüber hinaus ist täglich vor Aufnahme des Messbetriebes sowie unmittelbar nach jedem erneuten Ankoppeln der Geophonkette an die Bohrlochwand ein Instrumententest nach Vorgaben des Geräteherstellers durchzuführen und zu dokumentieren, um zu gewährleisten, dass alle Geophone an die Bohrlochwand angekoppelt sind und alle Kanäle einwandfrei registrieren. Dabei ist sicherzustellen, dass die Antworten (Polarität, Verstärkung, Phase) der drei Komponenten eines Geophon-Levels identisch sind, um später u.a. die Ausrichtung der Geophone im Bohrloch einwandfrei bestimmen zu können. Geophone, die diese Toleranzen nicht einhalten, sind auszutauschen. In von AG genehmigten Ausnahmefällen kann auf einen Austausch verzichtet werden. Das gilt insbesondere für Geophone am obere Rand der Geophonketten, wenn sich die Tiefenintervalle für einzelne VSP-Messabschnitte im Bohrloch überlappen und eine betroffene Geophonposition mit der Position eines einwandfreien Geophons nach Verschieben der Geophonkette identisch ist. Sollten Bohrloch-Geophone nach einer Reparatur während der Messungen noch einmal eingesetzt werden, so sind diese Geophone vorher zu testen.

Für eine optimale Ankopplung der Bohrlochgeophone an die Wand der Bohrlochverrohrung sind Anpressarme zu verwenden, die auf den Innendurchmesser (siehe Abschnitt 3) der jeweiligen Bohrung abgestimmt sind. Dabei ist auf eine gleichmäßig gute Ankopplung der einzelnen Geophone zu achten. Ist eine gute Ankopplungsqualität aufgrund eines schadhafte Bohrlochabschnitts oder fehlerhafter Zementierung nicht gewährleistet, ist der AG in Kenntnis zu setzen.

Um den Einfluss von Kabelwellen zu minimieren, ist das Windenkabel nach erfolgreicher Arretierung der Geophone in der Zieltiefe leicht zu lockern.

Vor Aufnahme und nach Abschluss des täglichen Messbetriebes ist darüber hinaus eine Noise-Registrierung durchzuführen. Eine Noise-Registrierung ist außerdem unmittelbar nach dem Ankoppeln

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NNAA	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 53

der Bohrlochgeophone an die Bohrlochwand sowie vor dem Lösen der Ankopplung auszuführen.

Für eine einwandfreie Kommunikation und die Übertragung des Trigger-Signals zum VSP-Messwagen ist eine funktionierende Funkverbindung sicherzustellen.

Für die Datenaufnahme dürfen nur qualitätsgeprüfte Datenträger eingesetzt werden. Die Originaldaten dürfen nicht gelöscht werden.

Der AN führt weiterhin in seinem Truppbüro Qualitätskontrollen der täglich akquirierten seismischen Daten durch. Dem Beauftragten des AG sind hierbei Einsicht- bzw. Vorschlagsmöglichkeiten einzuräumen.

### **Feldprocessing und Dokumentation**

Zur Qualitätskontrolle der VSP-Messdaten sowie zur Auswertung der Parametertests und zur Kontrolle der Akquisitionsgeometrie soll ein Feldprocessing mit einem seismischen Processing-System (Promax oder äquivalent) ausgeführt werden. Das Feldprocessing beinhaltet das Setzen aller verfügbaren Aquisitionsparameter in den Spur-Headern (u.a. Parameter zur Akquisitionsgeometrie wie ID, Lage und Höhe von Anregungs- und Empfängerpunkt sowie Geophonkomponente) sowie Stapelung mit anschließender Korrelation (Spurlänge 4 s).

### **Verkehrssicherungspflicht, Vermeidung von Schäden, Schadensregulierung**

Die Verkehrssicherungspflicht des AN ist bei der Ausführung der VSP-Messungen zu beachten.

Der AN ist angehalten, Schäden durch die seismischen Messungen zu vermeiden. Dazu zählen insbesondere Beschädigungen der Bohrungen durch die VSP-Messungen. Außerdem sind Fahrten querfeldein für den Zugang zu den Bohrungen zu vermeiden bzw. auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Der AN hat nach Abschluss der VSP-Messungen den früheren Zustand fremder Grundstücke wiederherzustellen bzw. den Grundeigentümern und den sonstigen Nutzungsberechtigten für die durch die Arbeiten entstandenen Schäden in Abstimmung mit dem AG Ersatz zu leisten.

### **Dokumentation**

Dokumentation der topographischen Vermessung:

Die Dokumentation hat die durchgeführte topographische Vermessung mit einem Lageplan zu enthalten. Die Daten sind in digitaler Form dem AG sowie als Bilddatensatz (nach Absprache) auf CD oder DVD zu übergeben.

Projekt	PSP Element	Thema	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <small>ASSE GMBH – Verantwortlich handeln</small>
NNA	NNNNNNNNNN	NNAANN	AA	AA	NNNN	NN	
9A	56100000	SMÜ	HF	BW	0004	00	
Messkonzept zu VSP-Messungen							Blatt: 54

#### Tagesprotokolle:

Im Tagesprotokoll sind die Tagesproduktion, etwaige Stillstandszeiten und wichtige Vorkommnisse detailliert festzuhalten. Das ausführliche Messprotokoll sowie die Daten der Qualitätskontrolle sind beizufügen.

#### Endbericht der VSP-Messungen:

Der Endbericht enthält eine zusammenfassende Darstellung der Messung und neben den Tagesprotokollen auch sämtliche wesentlichen Sachverhalte, die es dem AG ermöglichen, den operativen Ablauf und die Zuordnung der Daten vollständig nachzuvollziehen. Beizufügen sind insbesondere:

- topographische Kartensätze mit Eintragung aller für die VSP-Messungen relevanten Vibrator- und Sprengpunkte,
- Dokumentation der Qualitätskontrolle mit Darstellung der zur Qualitätssicherung durchgeführten Maßnahmen einschließlich Test- bzw. Monitorergebnisse und
- Schadensprotokolle

### Leistungsübergabe

Akquisitionsberichte und die Dokumentation der Qualitätskontrolle (Instrument- und Sensor-Testdaten) sowie Tages- und Schadensprotokolle sind digital auf Datenträgern täglich während der Messungen beim Vertreter des AG jeweils am folgenden Werktag vorzulegen.

Die Seismischen Rohdaten mit Geometrie einschließlich der Test- und Noisedaten sind digital auf USB-Festplatte im SEG-D oder SEG-Y Format abzuliefern.

Die akquirierten seismischen Daten sind digital auf USB-Festplatte im SEG-D oder SEG-Y Format in gestapelter und korrelierter Form (Spurlänge 4 s) täglich während der Messungen jeweils am folgenden Werktag an den Vertreter des AG sowie in gesammelter Form entsprechend den Vorgaben (diversity-gestapelt und korreliert) an den AG unmittelbar am Ende der Messkampagne zu übergeben. Alle verfügbaren Aquisitionsparameter sollen in den Spur-Headern gesetzt sein (u.a. Parameter zur Akquisitionsgeometrie wie ID, Lage und Höhe von Anregungs- und Empfängerpunkt sowie Geophonkomponente).

Die verwendeten Sweepsignale (Vibroanregung) und GPS-Zeiten der Quellenanregungen (Vibroanregung und Sprengungen) sind unmittelbar am Ende der Messkampagne zusammen mit den Daten für alle Anregungspunkte der 3D-Seismik digital auf USB-Festplatte im SEG-D oder SEG-Y Format zur Verfügung zu stellen, um eine Bearbeitung der permanenten Aufzeichnungen der mikroseismischen Messstationen der Asse GmbH zu ermöglichen.

Nach Beendigung der Messungen ist ein Endbericht mit einer zusammenfassenden Beschreibung der durchgeführten Feldmessungen zu erstellen und dem AG in digitaler und gedruckter Form vorzulegen.